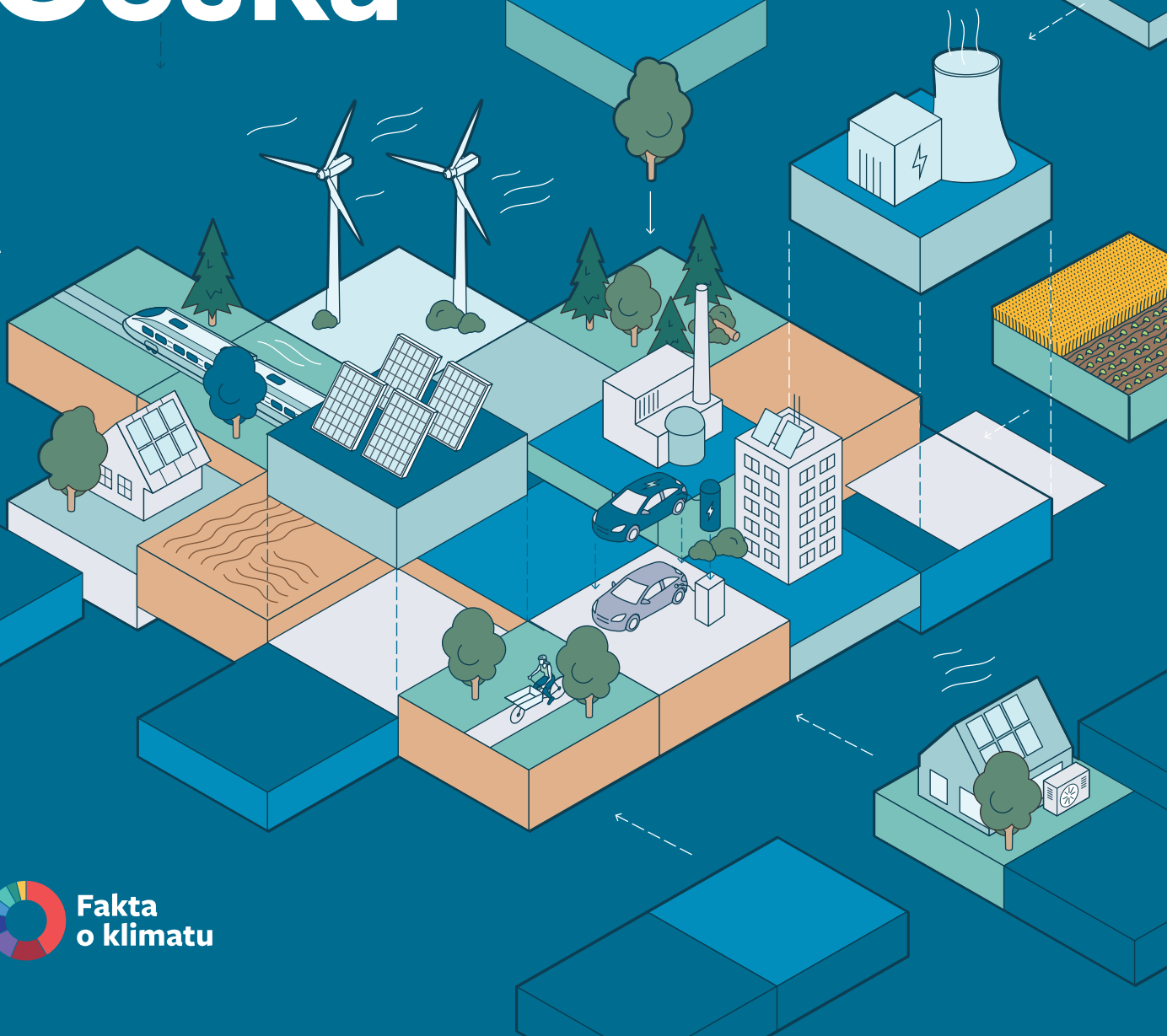


Atlas dekarbonizace Česka





Fakta o klimatu je mezioborový tým analytiků a analytiček zabývajících se klimatickou změnou a s ní související transformací na nízkouhlíkovou ekonomiku. Pomocí vizualizací vědeckých dat i vlastní analytické práce pomáhá poutat pozornost k důležitým tématům a zároveň poskytuje srozumitelné informace všem, kdo je potřebují: novinářům, politikům, lidem z byznysu i široké veřejnosti. Tím napomáhá kultivovat společenskou diskuzi v této oblasti.

Atlas dekarbonizace Česka

Vydala Fakta o klimatu ve spolupráci s Tiskárnou Helbich, a.s. v Brně v září 2025.

Vydání první.

Licence Creative Commons CC BY 4.0

Autorstvo:

Ondřej Příbyla

Jan Krčál

Petr Daniš

Kateřina Kolouch Grabovská

Alexandra Snováková

Informační design:

Kristína Pšorn Zákopčanová

Petr Holík

Zbyněk Štajer

Sazba a grafická úprava:

Marcel Otruba

Bronislav Musil

Kateřina Kolouch Grabovská

Kristína Pšorn Zákopčanová

Editace:

Jiří Lněnička

Korektura:

Barbora Zoja Zuchová

Tisk:

Tiskárna Helbich, Brno

Ke vzniku publikace dále přispěli svými připomínkami a vstupy:

Michal Berg, Zdeněk Daniel, Matěj Kolouch Grabovský (Fakta o klimatu),

Marie Jirková, Radka Zounková

ISBN 978-80-7609-022-4

Atlas dekarbonizace Česka

Tento projekt je financován Evropskou unií
v rámci Národního plánu obnovy



atlasdekarbonizace.cz



Tato publikace je výsledkem naší snahy přinést srozumitelné a podložené informace o klimatické změně a možným cestám k nízkouhlíkové ekonomice. Nevznikla by bez finanční podpory Státního fondu životního prostředí České republiky, za kterou jsme nesmírně vděční.

Zároveň bychom chtěli vyjádřit poděkování všem našim dárcům – jednotlivcům i firmám. Jejich příspěvky nám umožňují dlouhodobě fungovat a pokračovat v naší misi. Díky nim můžeme analyzovat vědecká data, tvořit vizualizace a poskytovat důležité informace novinářům, politikům, podnikatelům i široké veřejnosti. Právě jejich podpora nám pomáhá kultivovat společenskou diskuzi o tak zásadním tématu, jakým je klimatická změna a její mitigace.

V roce 2024 a v první polovině roku 2025 přispěli na činnost Fakt o klimatu částkou vyšší než 100 000 Kč následující dárci:

- Allianz pojišťovna, a. s.
- ČSOB, a. s.
- HW group, s. r. o.
- Krsek Foundation, nadační fond
- MITON Numero Uno, a. s.
- Omnicom Media Group, s. r. o.
- PentaGen, s. r. o.
- PPG

Velice děkujeme těmto expertům a expertkám za jejich cenné připomínky k jednotlivým kapitolám:

Jiří Beranovský, ČVUT Fakulta elektrotechnická a Ekowatt (Přehled energetiky, Výroba elektřiny)
Tomáš Jungwirth Březovský, AMO (Sociální a ekonomické aspekty)
Michal Čejka, Centrum pasivního domu a PORSENNA ENERGY (Budovy)
Kateřina Eklová, Rethink Architecture (Budovy)
Rebeka Hengalová, Institut EUROPEUM (Doprava)
Filip Křenek, Institut EUROPEUM (Doprava)
Jakub Maščuch, ČVUT Fakulta strojní (Výroba tepla)
Petr Novotný, Institut Cirkulární Ekonomiky (Odpady)
Jana Odstrčilová, Budovy21 (Budovy)
Laura Otýpková, Frank Bold (Sociální a ekonomické aspekty)
Leoš Pelikán, Centrum dopravního výzkumu (Doprava)
Tomáš Protivínský, CERGE-EI (Sociální a ekonomické aspekty)
Alena Rybičková, ČVUT Fakulta dopravní (Doprava)
Oldřich Sklenář, AMO (Přehled energetiky, Výroba elektřiny, Výroba tepla, Doprava, Budovy, Průmysl)
Karel Srdečný, Ekowatt (Přehled energetiky, Výroba elektřiny)
Martin Tengler, BloombergNEF (Přehled energetiky, Výroba elektřiny, Průmysl)
Lucie Trlifajová, Fakulta sociálních věd Univerzity Karlovy (Sociální a ekonomické aspekty)
Tomáš Trubačík, Svaz průmyslu a dopravy ČR (Budovy)
Michaela Valentová, ČVUT Fakulta elektrotechnická (Výroba tepla)
Kristina Zindulková, AMO (Sociální a ekonomické aspekty)
a řadě dalším

Odpovědnost za zpracování připomínek a za finální podobu publikace plně nese autorský tým.

Úvodní slovo

Geografické atlasy shrnují informace o světě do přehledných map, anatomické atlasy názorně ukazují uspořádání kostí, svalů či orgánů v lidském těle. Při tvorbě **Atlasu dekarbonizace Česka** bylo naším záměrem představit v co nejsrozumitelnější a nejprehlednější formě dostupné poznání o tom, kde v Česku vznikají emise skleníkových plynů a jakými způsoby je lze snížit.

Není to tedy prorocství ani předpověď – může se stát, že se česká nebo světová dekarbonizace nakonec vydá jinou cestou či se z nějakého důvodu zadrhne.

Není to ani sci-fi – snížit emise téměř k nule při současném zachování prosperity je totiž možné i s dnešními technologiemi a postupy.

A není to ani návod či popis „správného“ řešení – publikace se spíše snaží zmapovat terén a být příspěvkem do diskuzí, které Česko v dalších letech čekají. Ukazuje, ve kterých sektorech vzniká hodně emisí a ve kterých jen málo, co je technologicky možné a co ne a pomocí jakých opatření je možné dosáhnout největšího efektu. Vysvětluje také klíčové koncepty a souvislosti.

Při vytváření Atlasu jsme si uvědomili hned několik věcí:

→ **Dekarbonizace musí být zakotvena v realitě.** Není to fantazie o technologickém zázraku ani sen o utopickém světě – musí respektovat přírodní zákony, principy fungování ekonomiky a lidské společnosti, je to podnikatelská i inženýrská výzva, která vyžaduje střízlivé plánování. Má-li společnost prosperovat, potřebuje se i nadále přepravovat, mít dostatek energie i materiálů. Nic z toho se neobjeví samo od sebe: například elektrárny musí někdo postavit, to nějaký čas trvá a banky nebo stát musí chtít do projektu investovat. Což se nestane, nejsou-li technologie dost zralé a tržní pravidla nejsou nastavena tak, aby měla investice dobrou návratnost. Podobné je to v dopravě, průmyslu i jinde.

→ **Data jsou základ.** Bez nich nelze do hloubky porozumět tomu, jak věci fungují, natož pak plánovat další kroky či systémové změny. Spolehlivá data ale nejsou samozřejmost – stojí za nimi pečlivá, dlouhodobá práce mnoha institucí. Český hydrometeorologický ústav sbírá data o teplotách i emisích, Český statistický úřad shromažďuje data o spotřebě a hospodářství, mezivládní panel IPCC kompiluje vědecký výzkum, BloombergNEF a další

analytické instituce sledují trendy a modelují možné scénáře dalšího vývoje. Díky práci všech těchto institucí jsou dnes cenné informace dostupné doslova na pár kliknutí.

→ **Dekarbonizace bude projekt náročný na spolupráci.** Společnost tvoří lidé s nejrůznějšími schopnostmi, zájmy a možnostmi. Při spolupráci na dekarbonizaci bude klíčové brát tuto komplexitu v potaz. Přes všechny rozdíly potřebujeme mít co nejvíc sdílenou představu o problému, který společně řešíme, a sdílený jazyk, kterým se o tom můžeme bavit.

Ambicí Atlasu dekarbonizace Česka je posunout pozornost z hledání důvodů „proč to nejde“ k hledání řešení. I kdyby se ale takový posun společenské debaty podařil, nebude to konec cesty. Nestačí jen rozumět problému a navrhnout řešení – je také potřeba si vyhrnout rukávy a pustit se do realizace. Vytvořit svět, který je dlouhodobě udržitelný a může přinášet prosperitu dalším generacím, vyžaduje kromě porozumění i odhodlání, vytrvalost a odvahu učit se a experimentovat.

Doufáme, že vám tento Atlas pomůže o takové budoucnosti přemýšlet, bude inspirací pro vaši vlastní cestu, a stane se tak odrazovým můstkem pro diskuze, které jsou pro spolupráci na dekarbonizaci nezbytné.

Za tvůrčí tým přeje příjemné a inspirativní listování Atlasem

Ondráš Příbyla
zakladatel a ředitel Fakt o klimatu

Obsah publikace

ABC DEKARBONIZACE	10
KDE VZNIKAJÍ EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ?	
Kde vzniká většina emisí skleníkových plynů	14
Rozdělení emisí podle typu procesu	16
Rozdělení emisí podle sektorů hospodářství	18
Rozdělení emisí podle velikosti emitentů	20

OPATŘENÍ A SEKTORY	
Jak snížit emise: šest kategorií opatření	24
Co znamená dekarbonizace pro jednotlivé sektory?	26
ABC dekarbonizace: otázky a odpovědi	30
Potenciál snížení emisí v jednotlivých sektorech	34
<i>Poznámky ke kapitole</i>	36

PŘEHLED ENERGETIKY	39
Závislost energetiky na spalování fosilních paliv	40
Jak dnes vypadá česká energetika	
a jak by mohla vypadat v budoucnu?	42
Dekarbonizace české energetiky v číslech	44

PROMĚNA TOKŮ ENERGIE	
Toky energie: od primárního zdroje	
ke koncovému spotřebiteli	46
Toky energie v Česku	
v současnosti a možné budoucnosti	48
Proměna využití primární energie	
v téměř dekarbonizovaném Česku	50
Proměna konečné spotřeby energie	
v téměř dekarbonizovaném Česku	52
Konečná spotřeba energie	
v Česku po sektorech dnes a v budoucnu	54

ELEKTRIFIKACE	
Výhody elektrifikace a její omezení	56
Flexibilita energetického systému	58

SCÉNÁŘ MOŽNÉ BUDOUCNOSTI	
Jak byl sestaven scénář možné budoucnosti	
používaný v této publikaci?	60
Jaké nejistoty jsou se scénářem	
možné budoucnosti spojeny?	62
<i>Poznámky ke kapitole</i>	64

VÝROBA ELEKTŘINY	67
Dekarbonizace výroby elektřiny v ČR	68
Co při dekarbonizaci výroby elektřiny hraje roli?	70
Jak by mohla vypadat výroba elektřiny v Česku?	72

HLAVNÍ PILÍŘE BEZEMISNÍ VÝROBY	
Větrné elektrárny	74
Solární elektrárny	76
Jaderné elektrárny	78

VÝZVY SPOJENÉ S VYVAŽOVÁNÍM SÍTĚ	
Výroba z větru, slunce a jádra v ČR	80
Výzvy spojené s vyvažováním sítě	82
Dlouhodobá proměnlivost výroby v ČR	84
Dlouhodobá proměnlivost spotřeby v ČR	86
Jak v zimě zajistit import elektřiny?	87
Jak jinak by mohl vypadat budoucí energetický mix ČR?	88
Krátkodobá proměnlivost výroby v ČR	90
Co s případnými nadbytky elektřiny?	92
Jak zajistit, že elektřiny bude vždy dost?	94

EVROPSKÝ KONTEXT	
Které zdroje elektřiny rostou v EU?	96
Jak vypadá výroba elektřinyj inde v Evropě?	98

CENA ELEKTŘINY	
Co ovlivňuje náklady na výrobu elektřiny	100
Cena elektřiny	102

<i>Poznámky ke kapitole</i>	104
-----------------------------	-----

VÝROBA CENTRÁLNÍHO TEPLA	109
Dekarbonizace výroby centrálního tepla v ČR	110
Proč je centrální teplo v dekarbonizaci výhodou	112
Jak se v Česku vyrábí centrální teplo a jak by se mohlo vyrábět?	115

ŘEŠENÍ A TECHNOLOGIE	
Hybridní teplárna a její možnosti	116
Tepelné čerpadlo v teplárenství	118
Postupný přechod na rozvody s nízkou teplotou	120

<i>Poznámky ke kapitole</i>	122
-----------------------------	-----

PRŮMYSL	125
Dekarbonizace průmyslu v ČR	126
Dekarbonizace průmyslu promění dodavatelské řetězce	128
TEPLO V PRŮMYSLU	
Dekarbonizace výroby tepla pro průmysl	130

ODVĚTVÍ NÁROČNÁ NA DEKARBONIZACI	
Výroba oceli	132
Výroba cementu a vápna	134
Chemický průmysl	136

ŘEŠENÍ A TECHNOLOGIE	
Nízkoemisní vodík	138
Zachytávání a ukládání CO ₂ (CCS)	140
Co vše může při dekarbonizaci průmyslu hrát roli?	142
<i>Poznámky ke kapitole</i>	144

DOPRAVA	147
Závislost dopravy na spalování fosilních paliv	148
Doprava a emise skleníkových plynů	150
Různé druhy dopravy: jiné emise a přepravní výkon	152

ELEKTROMOBILITA	
Spotřeba energie v dopravě	154
Srovnání efektivity aut s různým pohonem	156
V čem jsou elektroauta jiná	158

DOPRAVNÍ SYSTÉM A INFRASTRUKTURA	
Dobíjení elektroaut	160
Multimodalita neboli kombinování	
různých způsobů dopravy	162
Veřejná doprava a aktivní mobilita	164

<i>Poznámky ke kapitole</i>	166
-----------------------------	-----

BUDOVY	169
Budovy a emise skleníkových plynů	170

VYUŽITÍ ENERGIE V BUDOVÁCH	
Rozdílné využití energie v budovách:	
rodinné a bytové domy	172
Nároky na vytápění u různých typů rodinného domu	174

ŘEŠENÍ A TECHNOLOGIE	
Jak snížit emise a spotřebu energie v budovách	176
Tepelné čerpadlo	178
Energeticky chytrý dům	180

<i>Poznámky ke kapitole</i>	182
-----------------------------	-----

HOSPODAŘENÍ V KRAJINĚ	185
Krajina v Česku: pole, louky a lesy	186
Emise skleníkových plynů ze zemědělství	188
Zásoba uhlíku v krajině	190
a uhlíkový cyklus	190
Otázky spojené s klimatickou změnou a krajinou	192

<i>Poznámky ke kapitole</i>	194
-----------------------------	-----

ODPADY	197
Odpadové hospodářství	198
a emise skleníkových plynů	198
Dekarbonizace odpadového hospodářství	200
Církulární ekonomika a snižování emisí	202

<i>Poznámky ke kapitole</i>	204
-----------------------------	-----

EKONOMICKÝ A SPOLEČENSKÝ ROZMĚR DEKARBONIZACE	207
Role státu, firem a lidí v dekarbonizaci	208

NÁSTROJE STÁTU	
Přínos regulačních nástrojů pro dekarbonizaci	210
Přínos ekonomických nástrojů pro dekarbonizaci	212

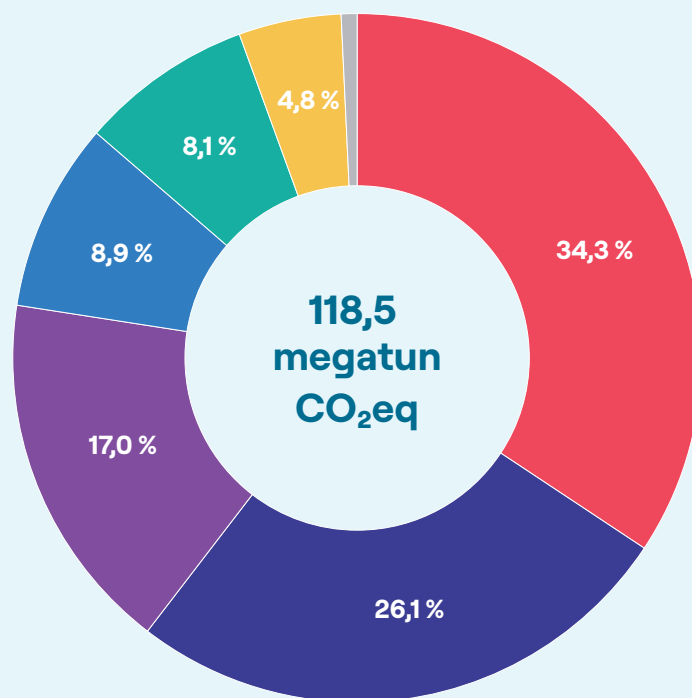
FINANCE A EKONOMIKA	
Náklady dekarbonizace: kolik to bude stát?	214
Srovnání nákladů dekarbonizace	
a dopadů klimatické změny	216
Křivka učení a zlevňování nízkoemisních technologií	218

SPOLEČNOST	
Sociální aspekty dekarbonizace	220

<i>Poznámky ke kapitole</i>	222
-----------------------------	-----

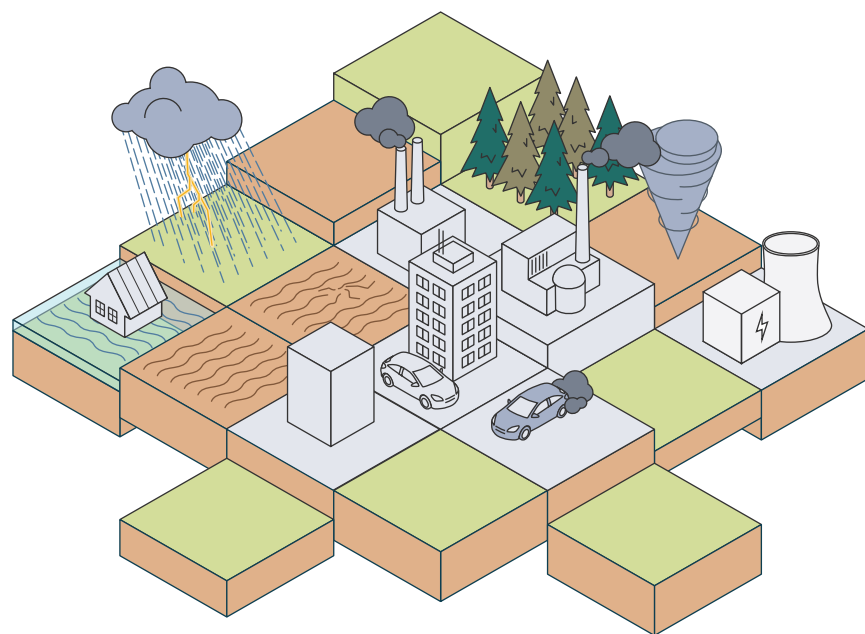
PŘÍLOHA: KLIMATICKÁ ZMĚNA	225
Lidstvo mění složení atmosféry	226
Pozorované dopady klimatické změny	228
Predikce dalšího oteplování planety	230
Pozorované změny a predikce vývoje v Česku	232

<i>Poznámky ke kapitole</i>	234
-----------------------------	-----



Emise CO₂eq v ČR za rok 2022

ABC dekarbonizace

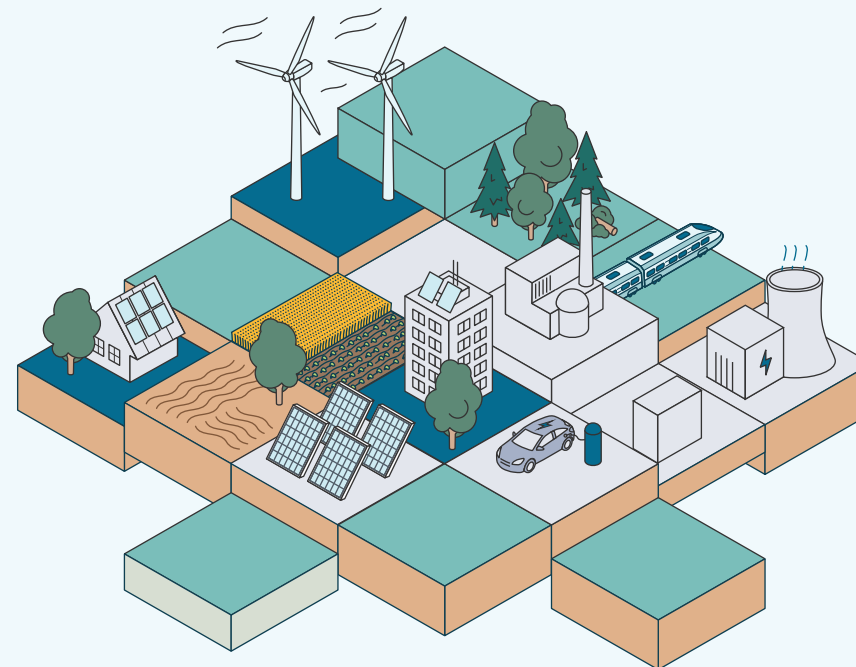


PROBLÉM

Klimatická změna

Lidská činnost, zejména spalování fosilních paliv, zvyšuje koncentraci skleníkových plynů v atmosféře, což zesiluje skleníkový efekt a vede k oteplování atmosféry. Tento růst průměrných teplot na celé planetě vede ke změnám s mnoha dopady na ekosystémy i lidskou společnost. Dochází k tání ledovců, zvyšování hladiny oceánů, delším obdobím sucha i častějším a silnějším extrémním událostem, jako jsou vlny veder, hurikány nebo povodně.

Poznatky o příčinách klimatické změny, pozorovaných dopadech a očekávaném vývoji v budoucnosti shrnuje příloha *Klimatická změna* (s. 225–236)



ŘEŠENÍ

Dekarbonizace

Spalování fosilních paliv i další zdroje skleníkových plynů lze téměř ve všech případech nahradit technologiemi, které skleníkové plyny neprodukují. Souhrnně se toto snižování emisí skleníkových plynů nazývá dekarbonizace.

O tom, jakými způsoby lze emise skleníkových plynů snižovat, je tato kniha.

Kde vzniká většina emisí skleníkových plynů?

PROBLÉM

75 % českých emisí pochází ze spalování fosilních paliv, které využíváme pro výrobu energie



EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ ČR
V ROCE 2022

118,5 miliónů tun CO₂eq¹



Čtvrtina emisí vzniká jinak než spalováním – biologickými procesy nebo chemickými reakcemi při průmyslové výrobě

Průmyslové a biologické procesy
25 %

Zdroj dat: ČHMÚ, Národní inventarizační dokument 2024

V čem spočívá dekarbonizace

ŘEŠENÍ

Základ je proměnit energetiku

Tato opatření mohou snížit **65 % českých emisí**

Ve většině případů je možné nahradit energii získanou z fosilních paliv elektřinou produkovanou nízkoemisními zdroji, jako jsou větrné, solární a jaderné elektrárny. Současně můžeme snižovat celkovou spotřebu energie, například zateplováním budov. Více v kapitole *Přehled energetiky* (s. 39–65)

- A Energetické úspory
- B Elektrifikace
- C Výroba čisté elektřiny a tepla

Část emisí bude složitější řešit, ale jde to

Tato opatření adresují **35 % českých emisí**

Například výrobu oceli či hnojiv nebo leteckou a lodní dopravu nejde snadno elektrifikovat. I pro tyto zdroje emisí však už existují řešení v podobě nízkoemisního vodíku, syntetických paliv nebo dalších změn ve výrobních procesech.

- D Změny paliv a technologických postupů
- E Zachytávání a ukládání CO₂

Pomohou i změny spotřebitelského chování

Můžeme například více využívat hromadnou dopravu, méně plýtvat, nekupovat nekvalitní věci nebo si nepořizovat nové, pokud ty původní lze ještě opravit. Pomůže také (alespoň částečné) nahrazení masa a mléčných výrobků rostlinnými alternativami.

- F Změny spotřebitelského chování

Rozdělení emisí podle typu procesu

Rozdělení podle procesů



75 % z fosilních paliv

Emise vznikají během hoření

Uhlík obsažený v těchto palivech se při hoření spojuje s kyslíkem ze vzduchu a vzniká oxid uhličitý (CO₂). Například při spálení 1 litru benzínu vznikne přibližně 2,4 kg CO₂.

V Česku se ročně spálí obrovské množství fosilních paliv: 37 milionů tun uhlí, 80 miliard litrů benzínu a nafty a 7,5 miliardy m³ zemního plynu.



13 % z průmyslových procesů

Emise vznikají při chemických reakcích

Část emisí v průmyslu vzniká při výrobních procesech jako vedlejší produkt chemické reakce. Například při výrobě cementu se z vápence uvolňuje oxid uhličitý (CaCO₃ → CaO + CO₂). Podobně při výrobě surového železa reaguje železná ruda (Fe₂O₃) s uhlíkem obsaženým v koksu, čímž vzniká železo a oxid uhličitý.



12 % z biologických procesů

Emise vznikají při biologických reakcích v půdě, tělech živočichů apod.

Skleníkové plyny vznikají také když mikroorganismy rozkládají organickou hmotu. Emise metanu (CH₄) vznikají například při trávení potravy v žaludcích přežvýkavců nebo při rozkladu organických materiálů bez přístupu vzduchu na skládkách odpadu. Emise oxidu dusného (N₂O) se uvolňují z půdy při přeměně dusíkatých látek v hnojivech půdními mikroorganismy.

S hospodařením v krajině souvisí také změny zásoby uhlíku v půdě a biomase, které se projevují jako emise nebo jako pohlcování CO₂. Podrobněji o nich píšeme na s. 190.

EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ ČR
V ROCE 2022

118,5 miliónů tun CO₂eq



Zdroj dat: ČHMÚ, Národní inventarizační dokument 2024

Co společnost získává



Elektrina

Od osvětlení až po internet, elektrina je neoddělitelnou součástí společnosti.



Topení, teplá voda a vaření

Do části budov se teplo dodává dálkově (z tepláren a vytopen), část má vlastní zdroje tepla (většinou plynové kotle).



Pohon vozidel

Benzín a nafta se využívají pro pohon aut, autobusů a kamionů, pro každodenní mobilitu i přepravu zboží.



Průmyslové teplo

Je potřebné při výrobě – např. k tavení, sušení, destilaci nebo na chemické reakce.



Výrobní procesy v průmyslu

Výroba železa, cementu, vápna a některých organických chemikálií má jako vedlejší produkt CO₂.



Zemědělská produkce

Z chovů krav na maso a mléko pochází emise metanu. Používání hnojiv na polích způsobuje emise oxidu dusného.



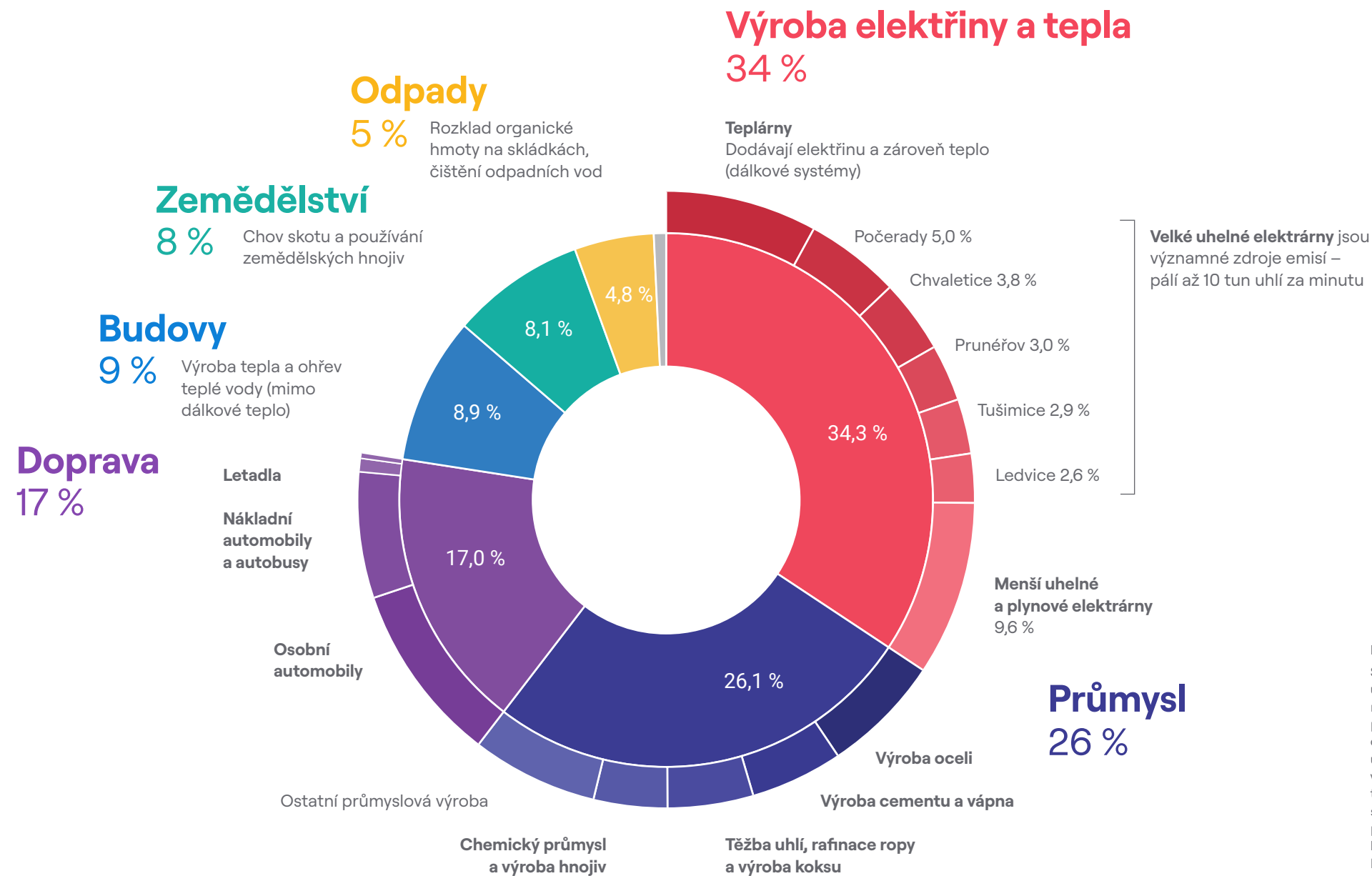
Odpady

Odpad je nevyhnutelným důsledkem naplňování základních životních potřeb. Při rozkladu jeho organické složky se uvolňuje metan.

Asi polovina elektřiny v Česku se vyrábí v uhelných elektrárnách a přibližně 6 % v plynových elektrárnách. Zbývající elektřina pochází z jaderných elektráren a obnovitelných zdrojů.

Rozdělení emisí podle sektorů hospodářství

V roce 2022 byly celkové emise skleníkových plynů České republiky 118,5 milionů tun CO₂eq. To je přibližně 11,5 tuny CO₂eq na osobu.

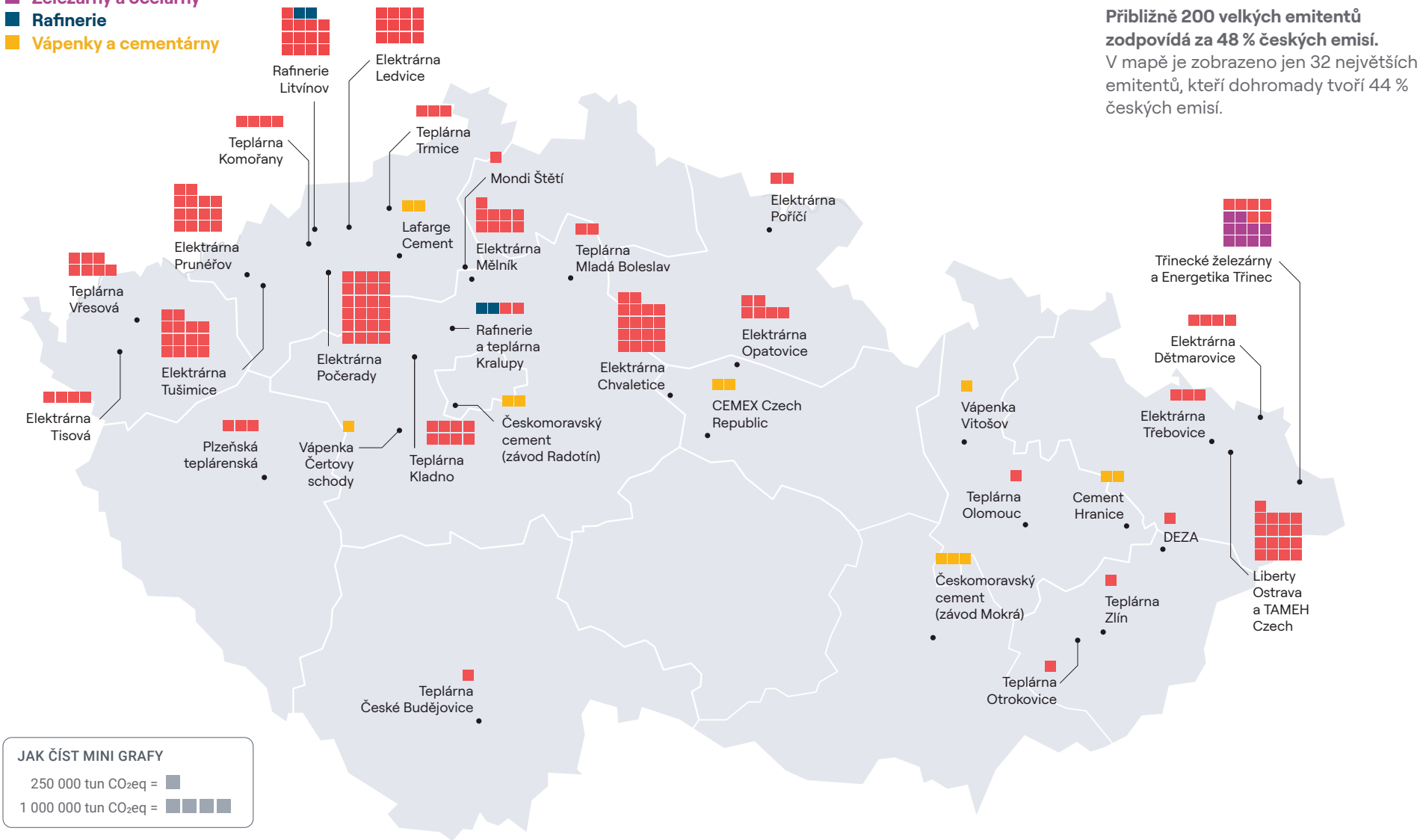


Zdroj dat: ČHMÚ, Národní inventarizační dokument 2024
a European Commission, EU ETS Verified Emissions 2022

Rozdělení emisí podle velikosti emitentů

Zhruba polovinu emisí skleníkových plynů v Česku produkuje asi 200 velkých průmyslových a energetických podniků. Druhá polovina připadá na miliony domácností a malé provozy. Při úvahách o možnostech dekarbonizace je důležité brát tuto nerovnoměrnost v potaz.

- **Elektrárny a teplárny**
- **Železárny a ocelárny**
- **Rafinerie**
- **Vápenky a cementárny**



48 %

Přibližně polovinu emisí v Česku produkují velké podniky, kterých je relativně málo – jde hlavně o elektrárny, teplárny, železárny, cementárny a další průmyslová výroba. Tyto podniky a jejich emise souvisejí se strukturou energetického mixu (vyrábějí energii) nebo dodávají základní suroviny jako ocel či cement. Jednotliví koncoví spotřebitelé na ně mají jen zanedbatelný vliv. Ke změnám a modernizaci může tyto podniky motivovat snaha obstát v konkurenčním tržním prostředí, snaha snížit náklady na vstupy (včetně emisních povolenek) a také potenciální regulace.

52 %

Druhá polovina emisí skleníkových plynů v Česku se naopak týká milionů aktérů a souvisí s dopravou, vytápěním budov či zemědělskou produkcí. Na rozdíl od velkých podniků, kde je přímý vliv jednotlivců minimální, zde naopak hrají roli jednotlivá rozhodnutí domácností a malých podniků – například nákup elektromobilu, zateplení budovy, nákup tepelného čerpadla nebo snížení spotřeby masa a mléka.

Zdroj dat: ČHMÚ, Národní inventarizační dokument 2024 (data za rok 2022)
a European Commission, EU ETS Verified Emissions 2022

Podrobněji se roli, kterou mohou státy, firmy a domácnosti v dekarbonizaci sehrát, věnuje s. 208.

AŽ

českých

65 % emisí

Ize snížit
kombinací energetických
opatření

A B C

ZBÝVAJÍCÍCH

35 % emisí

je potřeba řešit jinými
technologiemi nebo změnami
spotřebních vzorců

D E F

Jak snížit emise: šest kategorií opatření

Emise skleníkových plynů lze snižovat různými způsoby. Pro přehlednost je můžeme rozdělit do šesti hlavních kategorií, které se navzájem doplňují a společně umožňují emise eliminovat nebo kompenzovat

Základ je
proměnit energetiku



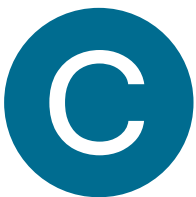
Energetické úspory

Snižování množství energie potřebné k dosažení výsledku – ať už jde o teplo, výrobu nebo pohyb vozidel a strojů. Do této kategorie spadá především zatopování domů, zvyšování energetické efektivity průmyslových procesů nebo využívání odpadního tepla. Podstatné energetické úspory také často přináší elektrifikace.



Elektrifikace

Náhrada fosilních paliv elektřinou. Elektromotor dokáže ve většině případů nahradit spalovací motor a většina dopravy může přejít na elektroauta či elektrobuses. Tepelná čerpadla či elektrokotle jsou dobrou alternativou plynu pro vytápění domácností a nacházejí uplatnění i v průmyslové výrobě. Elektrifikace v mnoha případech přináší významné energetické úspory.



Výroba čisté elektřiny a tepla

Zdroje čisté elektřiny a tepla. V současnosti pochází 70 % elektřiny v Evropě z nízkoemisních zdrojů, tedy ze slunce, větru, vody, biomasy nebo z jaderných elektráren. Tento podíl je možné dále zvyšovat a uhelné a plynové elektrárny postupně vyřadit nebo používat pouze jako záložní zdroje. Čisté zdroje tepla využívají energii okolního prostředí jako tepelná čerpadla, solární kolektory nebo geotermální zdroje.

Upgrade a přizpůsobení energetické soustavy. Aby se podíl nízkoemisních zdrojů mohl dostat blízko 100 %, je potřeba řešit akumulaci do baterií či do zásobníků tepla, posilovat přenosové sítě a zvyšovat flexibilitu spotřeby.

65 % českých emisí lze adresovat elektrifikací a dalšími proměnami v energetice.

Část emisí bude
složitější řešit, ale jde to



Změny paliv a technologických postupů

Přechod na pokročilá paliva. V odvětvích, kde elektrifikace není vhodným řešením, je možný přechod na nízkoemisní paliva. Vodík, metanol a pokročilá biopaliva mohou nahradit fosilní paliva v letecké a lodní dopravě a v energeticky náročném průmyslu.

Změny výrobních technologií. Tato kategorie zahrnuje úpravy a inovace výrobních procesů s cílem snížit emise z výroby. Patří sem například inovace ve složení cementových směsí, použití vodíku při výrobě železa, ale také inovativní přístupy v zemědělství.

25 % českých emisí není možné řešit elektrifikací a proměnou energetiky a pro jejich snižování je potřeba použít jiné technologie.



Zachytávání a ukládání CO₂

Technologické zachytávání. Emise oxidu uhličitého lze zachytávat buď přímo ze zdrojů (Carbon Capture and Storage, CCS), například z komínů elektráren a továren, nebo přímo ze vzduchu (Direct Air Capture, DAC). Následně je zachycený CO₂ ukládán do zemské kůry, nebo využit jako vstupní surovina v chemickém průmyslu.

Biologické zachytávání. Ekosystémy jako lesy a půda přirozeně pohlcují a ukládají CO₂ z atmosféry. Tato kategorie zahrnuje postupy, které mají za cíl posílit tuto přirozenou schopnost, tedy zvýšit biologické ukládání uhlíku.

Pomohou i změny
spotřebitelského chování



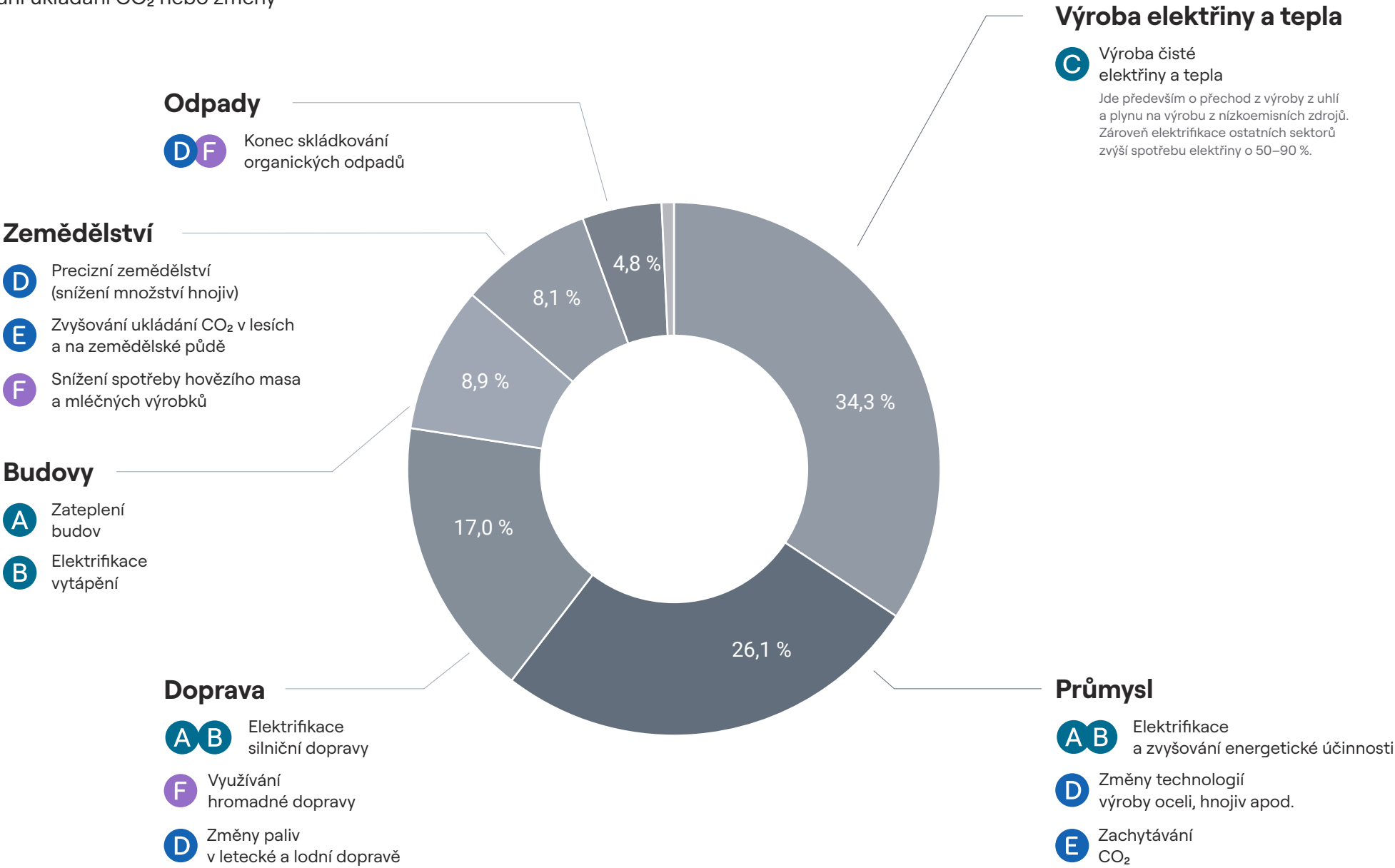
Změny spotřebních vzorců

Posuny ve spotřebitelském chování,² které vedou ke snížení emisí skleníkových plynů. Některé změny přináší i jiné pozitivní efekty, například využívání veřejné dopravy ve městech brání dopravním zácpám. Podobně je spotřebiteli vítaný důraz na dlouhou životnost a opravitelnost výrobků. Jiné změny nemusí být snadno přijímány širokou veřejností, například snaha o snížení spotřeby hovězího masa a mléčných výrobků, které přispívají ke snížení emisí ze zemědělství.

Změny ve spotřebitelském chování sice nejsou nutnou podmínkou dekarbonizace, ale mají významný potenciál snižování emisí usnadnit a zlevnit.

Co znamená dekarbonizace pro jednotlivé sektory?

V různých sektorech dekarbonizace vyžaduje odlišné typy opatření. Zatímco v sektoru budov jde především o energetické úspory a elektrifikaci, v zemědělství jde zejména o změny technologických postupů, zvyšování ukládání CO₂ nebo změny spotřebitelských vzorců.



Zdroj dat: ČHMÚ,
Národní inventarizační dokument 2024 (data za rok 2022)

Co znamená dekarbonizace pro jednotlivé sektory?

Výroba elektřiny a tepla

34 % emisí, souvisí zejména se spalováním uhlí v elektrárnách a teplárnách

Elektřina

S použitím současných technologií je možné pokrýt zvýšenou spotřebu elektřiny (elektrifikace dopravy, průmyslu a budov) a zároveň snížit emise z výroby elektřiny a tepla o 90–95 %.

Hlavní roli by při tom hrál výrazný rozvoj výroby elektřiny z nízkoemisních zdrojů **C**, především ze solárních a větrných elektráren. Tato změna energetického mixu pak bude vyžadovat posilování přenosových sítí a akumulace do baterií nebo tepelných zásobníků **C**. Rozvoj jaderné energetiky, tedy rozvoj malých modulárních reaktorů a nahrazení reaktorů v Dukovanech na konci jejich životnosti, bude v dekarbonizaci také hrát určitou roli, významně jí ale nepomůže (vzhledem k pomalosti výstavby jaderných elektráren a jejich nákladnosti).

V Česku se v blízké budoucnosti očekává odstavování dosluhujících uhelných elektráren a tepláren, které by snížilo emise z výroby elektřiny a tepla zhruba o polovinu. Tento trend je dán nejen plánovaným koncem využití uhlí v Česku do roku 2033, ale především klesající konkurenceschopností uhelných zdrojů na evropském trhu. Výroba elektřiny z uhlí bude nejprve z části nahrazena výrobou z plynu, který má nižší emisní stopu. S dalším rozvojem obnovitelných zdrojů se však role plynových elektráren může postupně omezit pouze na pokrytí špiček a záložní provoz.

Teplo

Dekarbonizace v oblasti teplárenství je komplexnější. Vyžaduje totiž optimální využití situací s přebytkem elektřiny (a její ukládání do tepla), efektivní nasazení tepelných čerpadel, solárních kolektorů a geotermálních zdrojů, v kombinaci s konvenčními tepelnými zdroji na biomasu, biometan, vodík nebo (v omezené míře) i zemní plyn. Zásadní výzvu mohou představovat také renovace a přizpůsobení stávajících teplovodních sítí novým technologiím dodávky tepla.

Podrobnější popis problémů a možných řešení je v kapitolách *Výroba elektřiny* (s. 67–104) a *Výroba centrálního tepla* (s. 109–122).

Průmysl

26 % emisí, podstatná část emisí souvisí s výrobou oceli, cementu a různých chemických látek, kde je dekarbonizace obtížná

Pro velkou část průmyslových výrob spočívá dekarbonizace v elektrifikaci **B** a zvyšování energetické účinnosti **A** – ty mohou emise z průmyslu snížit zhruba o polovinu.

V několika emisně náročných odvětvích dekarbonizace vyžaduje zásadní proměny technologických postupů **D** nebo zachytávání CO₂ **E** – například výroba cementu, oceli, hnojiv nebo některé další oblasti chemického průmyslu.

V dekarbonizaci průmyslu však nejde jen o řešení technologických aspektů (které se navíc v různých odvětvích liší). Důležité je zabývat se celými dodavatelskými a odběratelskými řetězci a porozumět tomu, jak je proměňuje technologický vývoj a postupující dekarbonizace a jakou roli v tom všem hraje tlak mezinárodní konkurence.

Například mnoho českých firem je součástí dodavatelských řetězců automobilového průmyslu, který v současnosti prochází velkou proměnou – globálně klesá poptávka po autech se spalovacími motory a celý sektor postupně směřuje k elektromobilitě. Kromě společnosti Škoda Auto ovlivní tento trend všechny firmy, které jsou jejími dodavateli.

Více o výzvách a řešeních v oblasti dekarbonizace průmyslu je v kapitole *Průmysl* (s. 125–144).

Charakter dekarbonizace se v jednotlivých sektorech výrazně liší...

V energetice a průmyslu hraje klíčovou roli relativně malý počet velkých podniků. Zde budou pro dekarbonizaci zásadní ceny emisních povolenek, které motivují tyto podniky k velkým investicím do čistších technologií. Pro oba sektory je ovšem klíčové předvídatelné regulační prostředí, bez něhož firmy nemohou dlouhodobě strategicky plánovat své investice. Zatímco v energetice se očekává výrazné snížení emisí už před rokem 2030 (díky postupnému odstavování uhelných elektráren), v průmyslu je dekarbonizace mnohem složitější a bude pravděpodobně probíhat pomaleji.

Na druhé straně stojí dekarbonizace sektorů budov a dopravy, které budou ovlivňovat rozhodnutí milionů drobných aktérů, především domácností. Rychlost změn je v těchto sektorech limitována zejména tím, jak rychle budou probíhat renovace budov a postupná obměna vozového parku.

Doprava

17 % emisí, většina souvisí se spalováním nafty a benzínu v silniční dopravě

Elektrifikace **B** může snížit emise z dopravy o více než tři čtvrtiny. To platí nejen pro Česko, ale i pro Evropu. Pro osobní a lehká nákladní auta se blíží doba, kdy budou elektromobily cenově srovnatelné s běžnými auty a v některých státech (např. Norsko) se již auta se spalovacími motory téměř neprodávají.

Elektrifikace nákladní kamionové dopravy je náročnější, současný vývoj ale naznačuje, že by mohla být perspektivnější než jiná řešení, např. ta založená na vodíku.

Úspěch elektrifikace závisí také na rozvoji dobíjecí infrastruktury – dostatku dobíjecích bodů podél dálnic, ve městech i v logistických centrech.

V mezinárodním kontextu je podstatné řešit i leteckou a lodní dopravu. Zde je ale přímá elektrifikace s využitím baterií prakticky nemožná kvůli vysoké hmotnosti baterií a jako řešení se jeví spíše využívání biopaliv a syntetických paliv. Naopak v případě železniční dopravy je její významná část v Evropě už elektrifikovaná.

V obecné rovině také platí, že dekarbonizaci dopravy by mohlo usnadnit a zlevnit posílení a zatraktivnění veřejné dopravy **F**.

Téma dekarbonizace dopravy je více popsáno v kapitole *Doprava* (s. 147–166).

Budovy

9 % emisí, z lokálního vytápění a výroby teplé vody^a

Emise z provozu budov lze efektivně snižovat kombinací energetických úspor a zateplování **A** a elektrifikace vytápění a ohřevu teplé vody **B**, především používání tepelných čerpadel. V případě bytových domů a jiných budov s dálkovým zásobováním teplem je potřeba proměna na straně dodavatele (obvykle přechod k nízkoemisním zdrojům).

Nově postavené budovy by měly směřovat k pasivnímu standardu a mít minimální spotřebu energie. Celkově ale rychlost dekarbonizace tohoto sektoru mnohem více závisí na tom, kolik renovací a zateplení se ročně podaří realizovat a jak kvalitní budou.

Dekarbonizaci sektoru budov se detailně věnuje kapitola *Budovy* (s. 169–182).

Hospodaření v krajině

8 % emisí, z chovu skotu a používání hnojiv

V zemědělství může emise skleníkových plynů snížit například širší využití precizního zemědělství **D**, které cíleným dávkováním hnojiv minimalizuje emise oxidu dusného (ty vznikají při rozkladu hnojiv). U emisí z chovu skotu neexistuje technologické řešení a jediná cesta k jejich významnému snížení vede přes omezení spotřeby masa a mléčných výrobků **F**.

Lesnictví může k dekarbonizaci významně přispět, pokud se podaří současné lesy ozdravit. Odolné lesy totiž dokáží oxid uhlíčitý z atmosféry zachytávat a dlouhodobě ukládat **E**. Mohou tak kompenzovat část emisí z jiných sektorů, které je obtížné eliminovat.

U hospodaření v krajině však nejde primárně o snižování emisí – mnohem důležitější je udržovat krajinu zdravou, aby mohla zadržovat vodu, odolávala půdní erozi a podporovala biodiverzitu. Zdravá a odolná krajina se totiž dokáže také mnohem lépe vyrovnávat s dopady klimatické změny.

Více o roli, kterou může sehrát hospodaření v krajině v mitigaci klimatické změny, je uvedeno v kapitole *Hospodaření v krajině* (s. 185–194).

Odpadové hospodářství

5% emisí, zejména úniky metanu z rozkladu organického odpadu na skládkách a při zpracování čistírenských kalů

Místo skládkování organického odpadu, při jehož rozkladu uniká do atmosféry metan, lze odpad zpracovávat v bioplynových stanicích a vzniklý metan energeticky využívat. Podobně i kalý z čistíren odpadních vod mohou sloužit jako vstupní surovina pro výrobu bioplynu.

Sektor odpadového hospodářství má i další environmentální dopady (mikroplasty, toxické látky aj.), tato publikace se však zaměřuje pouze na jeho podíl na klimatické změně.

Dekarbonizaci odpadového hospodářství se více věnuje kapitola *Odpady* (s. 197–204).

ABC dekarbonizace: otázky a odpovědi

Jak hluboké dekarbonizace je možné v Česku dosáhnout?

Klimatická změna se nezastaví snížením emisí o pár procent – ke stabilizaci klimatu je potřeba celosvětově dosáhnout emisí skleníkových plynů blížkých nule. Tedy každá země a každý region potřebuje hledat, jak své emise snížit co nejvíce a proto je důležité ptát se, jak hluboké dekarbonizace lze se současnými technologiemi v Česku dosáhnout.

Kombinace opatření ze tří hlavních oblastí – **energetických úspor** **A**, **elektrifikace** **B** a **čisté výroby energie** **C** – může snížit emise přibližně o 65 %, aniž bychom museli slevit ze současné životní úrovně a komfortu.

Dalších zhruba 25 % emisí je možné odstranit technologiemi, které už existují, ale zatím nejsou masově nasazeny – jde například o využití čistého vodíku, změny v průmyslových procesech nebo zachytávání a ukládání CO₂ (opatření v kategoriích označovaná jako **D** a **E**). K jejich rozšíření není potřeba technologický průlom, ale spíše budování infrastruktury a také nalezení vhodných byznys modelů.

Zbývajících 10 % emisí dnes nemá přímočaré technologické řešení. K jejich snížení mohou spíše vést změny spotřebních vzorců (například nižší spotřeba masa). Zbýající emise lze také kompenzovat zvýšením přirozeného pohlcování uhlíku v krajině – zejména v půdě a lesích.

V principu tedy lze emise výrazně snížit, a to bez ohrožení současné životní úrovně.⁴ Klíčovou otázkou však zůstává, zda existuje dostatečná politická vůle a společenská shoda k tomu, aby lidstvo této možnosti skutečně využilo.

Podrobný rozbor, jaké postupy umožňují snižovat emise v jednotlivých sektorech hospodářství, je uveden v tabulce na s. 34. Současný výzkum o dekarbonizaci a jejich nákladech shrnují s. 214–216.

Která opatření přinášejí největší úspory emisí v Česku?

Největší úspory přináší kombinace tří opatření: úspory energie **A**, elektrifikace **B** a čistá elektřina **C** – ABC dekarbonizace. Tato tři opatření spolu tvoří provázaný celek, který může eliminovat 65 % českých emisí.

Když například zateplíme dům a nahradíme plynový kotel tepelným čerpadlem, spotřebujeme méně energie (úspora), používáme elektřinu místo plynu (elektrifikace), a pokud je elektřina z obnovitelných zdrojů, eliminujeme i emise z její výroby (čistá elektřina). Samotné zateplení bez elektrifikace by přitom pouze snížilo emise z vytápění a samotná elektrifikace bez čistých zdrojů by emise přesunula z komínu domu do komínů elektráren.

Detailní pohled na to, jakým způsobem je možné snižovat emise v jednotlivých sektorech a podsektorech, ukazuje tabulka na s. 34.

Jak velké mohou být úspory energie?

Konečná spotřeba energie, tedy spotřeba elektřiny, tepla a pohoných hmot v dopravě, dnes v Česku dosahuje 290 TWh ročně. Analýzy ukazují, že stejný komfort pro domácnosti i dostatek energie pro průmysl můžeme zajistit s 210–220 TWh, tedy **s úsporou přibližně 20–25 %**.

Energetických úspor lze dosáhnout především dvěma způsoby: snížením ztrát energie (například zateplením budov) a používáním technologií s vyšší účinností. Zde se úspory potkávají s elektrifikací – například elektromobily využívají energii zhruba třikrát efektivněji než auta se spalovacím motorem a tepelná čerpadla dokážou dodat 3–4× víc tepla, než kolik spotřebují elektřiny.

Podrobné zobrazení energetických toků a možných úspor je na s. 48.

Více o používání tepelných čerpadel je na s. 178, více o elektroautech na s. 158.

Jak lze v Česku vyrobit dostatek nízkoemisní elektřiny?

Roční spotřeba elektřiny by v Česku mohla vzrůst na přibližně 90–115 TWh. Takové množství elektřiny lze bez emisí vyrobit různými způsoby, ale ne všechny jsou stejně nákladné nebo technicky vhodné. Česko by se například mohlo pokusit pokrýt spotřebu výhradně jadernými elektrárnami – takový energetický mix by ale byl drahý a vyžadoval by desítky let výstavby, jeho dosažení by tedy trvalo velmi dlouho.

Různé analýzy ukazují, že **robustní a nákladově efektivní řešení stojí na třech hlavních pilířích: sluneční, větrné a jaderné energetice**. Každý z těchto zdrojů by do roční bilance výroby elektřiny přispěl přibližně 25–35 TWh. Tato kombinace využívá výhod různých technologií – obnovitelné zdroje přinášejí nízké provozní náklady, jádro zase stabilní výkon.

Zbylou spotřebu elektřiny lze pokrývat kombinací vodních elektráren, biomasy a biometanu a v malé míře i vodíku nebo zemního plynu, významnou roli může sehrát také dovoz elektřiny. Při designu budoucí energetiky je důležité zohledňovat také potřebu celé řady způsobů akumulace energie, provázanost s teplárenstvím a propojenost evropského trhu s elektřinou.

Podrobnější rozbor variant a technických i ekonomických souvislostí výroby elektřiny najdete v kapitole *Výroba elektřiny* (s. 67–104).

Co udělá elektrifikace se spotřebou elektřiny v Česku?

Elektrifikace dopravy, průmyslu a budov by **zvýšila roční spotřebu elektřiny** o 30 až 55 TWh. Kolik to nakonec bude, záleží na tom, jak velké úspory energie se podaří dosáhnout zateplením budov a dalšími cestami. Dnes Česko spotřebuje zhruba 60 TWh elektřiny ročně – elektrifikace by tedy mohla spotřebu zvýšit **o 50 až 90 %**. Nicméně tento nárůst spotřeby lze zvládnout – kombinací obnovitelných zdrojů, jaderné energie, akumulace a záložních zdrojů.

Podrobnější pohled na nárůst spotřeby a změny v energetických tocích najdete v kapitole *Přehled energetiky* (s. 39–64). Různé typy zdrojů a možnosti jejich kombinace rozebírá kapitola *Výroba elektřiny* (s. 67–104).

Jsou technologie pro dekarbonizaci dostatečně zralé?

Technologie spadající do kategorií opatření **A**, **B** a **C**, tedy například solární a větrné elektrárny či elektromobily, jsou již zralé, ekonomicky úspěšné a využívají se ve stále větším měřítku. Zároveň se dále vyvíjejí a dochází k dalšímu snižování jejich ceny.

Naproti tomu řada technologií zařazených do kategorií opatření **D** a **E**, tedy především výroba a využití nízkoemisního vodíku a zachytávání oxidu uhličitého, se nacházejí spíše ve fázi pilotních projektů. Tyto projekty sice prokazují technickou realizovatelnost, avšak pro významné rozšíření těchto technologií a dosažení konkurenceschopnosti je nezbytný další vývoj, nalezení vhodných modelů financování a vybudování potřebné infrastruktury.

Diskusi o nízkoemisních zdrojích elektřiny a dalších technologiích pro dekarbonizaci energetiky najdete v kapitole *Výroba elektřiny* (s. 67–104).

Podrobněji CCS popisuje s. 140 a výrobu a využití nízkoemisního vodíku s. 138.

ABC dekarbonizace: otázky a odpovědi

Které oblasti není možné či vhodné elektrifikovat?

Jedním z limitů pro elektrifikaci je, že baterie mají 50–100× nižší hustotu energie než paliva.

To je problém hlavně v **letecké dopravě**, protože pro dosažení srovnatelného doletu s konvenčními letadly by baterie musely být extrémně těžké a objemné. Prakticky pro leteckou dopravu existují tři možné cesty dekarbonizace: biopaliva, syntetická paliva využívající vodík nebo kompenzace emisí při biologickém nebo technologickém zachytávání CO₂. (Tato opatření spadají do kategorií **D** a **E**.)

Také v **lodní dopravě** představuje nižší hustota energie baterií omezení. Těžké a objemné bateriové systémy by totiž výrazně zmenšily prostor pro náklad. Na moři také nejsou žádné „nabíjecí stanice“ a lodě plují týdny daleko od pevniny. Potřebovaly by obrovské baterie a to se ekonomicky nevyplatí. Vhodnou a ekonomicky přijatelnější cestou pro dekarbonizaci lodní dopravy mohou být syntetická paliva z nízkoemisního vodíku – metanol nebo amoniak.

Třetí oblastí jsou **vysokoteplotní procesy v průmyslu** – ani ty prakticky není možné elektrifikovat (s výjimkou elektrických obloukových pecí používaných při zpracování oceli). Typicky jde o tavení různých kovů v metalurgii, zpracování skla nebo o některé procesy v chemickém průmyslu, které vyžadují teploty nad 1000 °C. Pro některé z těchto vysokoteplotních procesů je vhodou cestou k dekarbonizaci použití nízkoemisního vodíku nebo biometanu.

Podrobnější diskusi o dekarbonizaci průmyslových procesů najdete v kapitole *Průmysl (s. 125–144)*. Možnostem dekarbonizace letecké a lodní dopravy se tato publikace nevěnuje.

Kolik to bude stát?

Otázka o nákladech dekarbonizace zní jednoduše, ale odpověď je překvapivě složitá. Je třeba srovnávat dva (nebo více) různých scénářů budoucnosti. V jednom z nich svět pokračuje po současné trajektorii a investice do energetiky či dopravy řídí trh a stejné regulace jako doposud. V druhém scénáři se svět o dekarbonizaci snaží a je ochoten k tomu přijímat opatření a investovat kapitál.

Výzkumy, které takto srovnávají uvedené scénáře budoucnosti dělá řada renomovaných institucí, od akademické sféry přes Mezinárodní energetickou agenturu (IEA) a Mezivládní panel pro klimatickou změnu (IPCC) až po poradenské společnosti (např. BloombergNEF, McKinsey, BCG), a dokonce i energetické giganty (Shell, BP). Tyto výzkumy se shodují v následujícím:

Kdyby se svět řídil trhem a současným nastavením politik, pak je na trajektorii směřující k vrcholu emisí okolo roku 2030 a jejich pomalému poklesu, tedy pomalé dekarbonizaci. Tento scénář vede k oteplení světa o 3 °C v roce 2100 a klimatická změna v něm přináší velké přímé škody a negativní dopady na světové hospodářství v řádu 10 % světového HDP. Naopak druhý scénář aktivní dekarbonizace by udržel oteplení pod 2 °C a vyhnul se většině negativních dopadů na hospodářství. To by sice vyžadovalo investice navíc zhruba ve výši 1–2 % světového HDP, ale tyto dodatečné náklady by byly několikanásobně nižší než škody a negativní dopady na hospodářství v prvním scénáři.

Také modelování pro Česko ukazuje, že scénář rychlé dekarbonizace má sice zpočátku vyšší investiční náklady než scénář současných politik (asi o 2 % HDP),⁵ ale v případě celosvětové dekarbonizace by vedl k výrazně nižším negativním dopadům změny klimatu na české hospodářství.

Podrobněji se nákladům dekarbonizace věnují s. 214–216.

Jaké změny v životě lidí by byly potřeba?

Klíčovým předpokladem úspěšné dekarbonizace je ochota a otevřenost veřejnosti vůči novým technologiím. Nejvýznamnější přímý vliv domácností na snižování emisí je v oblastech bydlení (zateplení budov, výměna topného systému za nízkoemisní zdroj) a dopravy (používání elektroaut místo aut se spalovacími motory).

Změny spotřebitelského chování **E**, jako třeba využívání hromadné dopravy, omezení spotřeby masa a mléčných výrobků, úspory energie nebo nákup environmentálně šetrných výrobků, mohou v dekarbonizaci sehrát podstatnou roli – mohou ji **výrazně zjednodušit, zrychlit a zlevnit** – a zpravidla mají navíc i další environmentální benefity.

Spotřebitelské chování je přitom nejen odrazem osobních hodnot, ale zejména dostupnosti či ceny služeb. Velkou roli v tom mohou sehrát města a kraje při budování systémů veřejné dopravy a urbanistickém plánování, nebo stát, který ovlivňuje spotřebitelské chování skrze daně a regulace.

Jakou roli může hrát geopolitika?

Dekarbonizace není pouze environmentální výzvou, zásadně ji ovlivňuje také globální politika a ekonomické zájmy států i firem.

Různé státy mají různou situaci: zatímco státy ohrožené klimatickou změnou se snaží světové dekarbonizační úsilí urychlit, země závislé na vývozu fosilních paliv často brání přijetí ambicióznějších dohod, protože se obávají, že odklon od fosilních paliv ohrozí jejich ekonomickou prosperitu.

Klimatická změna má ale dopady na celý svět (je negativní externalitou), a její řešení tedy vyžaduje dlouhodobou spolupráci aktérů. Snahy zastavit klimatickou změnu jsou předmětem pravidelných mezinárodních jednání, jako jsou každoroční konference COP. Panuje široká shoda naprosté většiny států na cíli udržet globální oteplení pod hranicí 2 °C, a tuto shodu reprezentuje Pařížská dohoda.

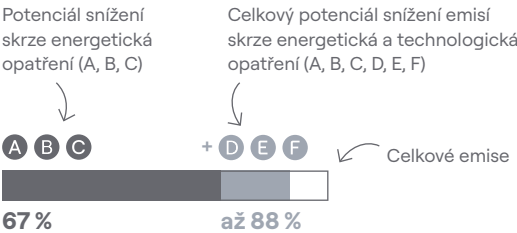
Fakt, že fosilní paliva jsou nejen obchodní komoditou, ale mohou být i nástrojem geopolitického vlivu, naplno ukázala válka na Ukrajině, kdy Rusko použilo dovozní závislost Evropy k politickému nátlaku. Evropa nicméně v reakci na tuto situaci urychlila odklon od ruských fosilních paliv, diverzifikovala své energetické zdroje a posílila investice do obnovitelných zdrojů, které posilují její energetickou suverenitu.

Jiným geopolitickým aspektem je rostoucí dominance Číny v oblasti čistých technologií, která vyvolává obavy mnoha zemí z nových závislostí. Zároveň Čína se rozvojem technologií na výrobu solárních panelů a baterií snaží snížit svou vlastní závislost na dovozu ropy a plynu.

Potenciál snížení emisí v jednotlivých sektorech

Kombinace energetických opatření A, B, C může snížit emise ČR až o 65 %. Další technologická opatření D a E umožňují dosáhnout celkového snížení emisí o 90–100 %.⁶

POTENCIÁL SNÍŽENÍ		EMISE [%] [Mt CO ₂ eq]		POPIS CESTY KE SNÍŽENÍ
A B C + D E F	KATEGORIE			
85 % až 95 %	Energetika	34,4 %	40,66	
85 % až 95 %	Výroba elektřiny a tepla z fosilních paliv (uhlí, zemní plyn)	34,4 %	40,66	Výroba elektřiny z čistých zdrojů: solární, větrné a vodní elektrárny, jaderné elektrárny a SMR, využití biomasy, příp. využití nízkemisního vodíku nebo zachytávání zbylých emisí uhlíku. ⁷ Výroba tepla z čistých zdrojů: velká tepelná čerpadla, akumulace přebytků elektřiny do tepla, kogenerace z biomasy, biometanu, příp. zemního plynu. ⁸
58 % až 90 %	Průmysl	26,1 %	30,94	
95 %	Výroba ocelí a jiných kovů (včetně výroby koksu)	7,6 %	9,04	Elektrifikace (pomocí obloukových pecí), přesun zpracování železné rudy do zahraničí (příp. přímá redukce železné rudy pomocí H ₂ nebo redukce koksem s technologií CCS). ⁹
20 % až 90 %	Výroba cementu, vápna a skla	4,9 %	5,75	Energetické úspory a optimalizace výroby, CCS, nahrazení paliv a jiné technologické postupy (např. snížení obsahu slínku, příp. jeho úplné nahrazení jiným pojivem) ¹⁰
50 % až 90 %	Chemický průmysl a rafinace ropy	4,9 %	5,83	Snížení poptávky po benzínu a naftě v důsledku elektrifikace dopravy. Technologicky jsou možné energetické úspory a optimalizace výroby, elektrifikace výroby procesního tepla, využití nízkemisního vodíku jako suroviny pro výrobu amoniaku a dalších chemických látek. ¹¹
80 % až 95 %	Ostatní výrobní průmysl, potravinářský průmysl a papírenský průmysl	3,2 %	3,81	Energetické úspory, elektrifikace, využívání biomasy či biometanu. ¹²
95 %	Úniky metanu při těžbě a transportu fosilních paliv	2,1 %	2,44	V důsledku významného snížení používání fosilních paliv tak dojde i ke snížení těchto emisí.
0 % až 80 %	F-plyny	3,0 %	3,61	Substituce F-plynů ¹³
	Ostatní emise z průmyslu	0,4 %	0,46	
81 % až 92 %	Doprava	17,0 %	20,20	
100 %	Osobní automobilová doprava	9,4 %	11,19	Elektrifikace, tedy využití elektroaut ¹⁴
100 %	Lehké nákladní dodávky	2,0 %	2,40	Elektrifikace, tedy využití elektrododávek ¹⁵
50 % až 80 %	Autobusová a kamionová doprava	4,6 %	5,42	Elektrifikace, v některých případech přechod na biopaliva, případně nízkemisní vodík ¹⁶
0 % až 50 %	Letecká doprava	0,7 %	0,82	Předpokládá se částečná dekarbonizace kombinací pokročilých biopaliv a syntetických paliv. ¹⁷
50 % až 100 %	Železniční doprava	0,2 %	0,23	Elektrifikace vlakové dopravy
	Ostatní emise z dopravy	0,1 %	0,13	



POTENCIÁL SNÍŽENÍ		EMISE [%] [Mt CO ₂ eq]		POPIS CESTY KE SNÍŽENÍ
A B C + D E F	KATEGORIE			
90 % až 100 %	Budovy	8,9 %	10,52	
90 % až 100 %	Domácnosti (lokální vytápění a ohřev teplé vody)	6,9 %	8,19	Zateplení a elektrifikace vytápění (tepelná čerpadla), případně vytápění biomasou či bioplynem. Jako doplňkové technologie mohou sloužit solární termické kolektory a využití odpadního tepla. ¹⁸
90 % až 100 %	Komerční a veřejné budovy (lokální vytápění a ohřev teplé vody)	2,0 %	2,33	Zateplení a elektrifikace vytápění (tepelná čerpadla), případně vytápění biomasou či bioplynem. Jako doplňkové technologie mohou sloužit solární termické kolektory a využití odpadního tepla.
4 % až 45 %	Zemědělství	8,1 %	9,61	
0 % až 30 %	Chov skotu a nakládání s chlévskou mrvou	3,3 %	3,94	Snížení emisí mohou přinést pokroky ve šlechtění skotu, změny krmné směsi, doplňky zabraňující tvorbě metanu a změny v nakládání s chlévskou mrvou. ¹⁹
0 %	Chov prasat, ovcí a drůbeže včetně nakládání s mrvou	0,4 %	0,5	Stagnace nebo možná dokonce mírné zvýšení emisí v důsledku nahrazení spotřeby hovězího masa jinými živočišnými výrobky (přes změny v nakládání s chlévskou mrvou).
0 % až 50 %	Emise související s používáním průmyslových hnojiv	3,4 %	3,98	Precizní zemědělství, regenerativní zemědělství a další postupy, které snižují množství potřebných hnojiv a zvyšují zdraví půdy. ²⁰
30 % až 100 %	Spalování fosilních paliv v zemědělství a lesnictví	1,0 %	1,19	Elektrifikace, pokročilá biopaliva
0 % až 79 %	Odpadové hospodářství	4,8 %	5,7	
0 % až 80 %	Skládkování odpadů	3,1 %	3,72	Eliminace skládkování organických odpadů, tedy jejich třídění a využití na výrobu bioplynu nebo kompostování
0 % až 80 %	Kompostování a bioplynové stanice	0,7 %	0,80	Plynotěsné zastřešení a zachytávání metanu v místech zpracování
0 % až 80 %	Čištění odpadních vod	0,9 %	1,07	Energetické využití kalů z odpadních vod, tzn. výroba bioplynu.
0 % až 80 %	Spalování odpadů	0,1 %	0,11	
	Ostatní emise nezařazené do předchozích kategorií	0,7 %	0,86	

Poznámky ke kapitole

1 Emise vyjádřené jednotkou CO₂eq v sobě zahrnují nejen emise CO₂, ale i emise metanu a oxidu dusného přepočítané na množství CO₂, které by mělo stejný oteplovací efekt. Například metan je ve stoletém časovém horizontu 27× silnější skleníkový plyn než CO₂ (tedy jedna tuna emisí metanu se započítá jako 27 tun CO₂eq). Více viz:

→ [Wikipedia contributors. \(2025\). *Global warming potential*. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. \[Dostupné online\].](#)

2 Obecně se jedná o změny v poptávce po službách nebo produktech, v nichž může hrát roli mnoho faktorů. Někdy jde více o osobní motivace a rozhodování spotřebitele, někdy více o dostupnost služeb a jejich cenu (např. používání veřejné dopravy). Změny mohou souviset i s technologickým pokrokem (např. práce z domu je důsledkem vývoje informačních technologií a ovlivňuje potřebu cestovat do zaměstnání; vývoj a používání AI zvyšuje spotřebu energie v datacentrech). Na změny mohou mít vliv i regulace (např. vyžadování delší záruční doby a opravitelnosti výrobků). Pojem „změny spotřebitelského chování“ dává větší důraz na rozhodování spotřebitelů, pojem „změny spotřebních vzorců“ více vystihuje komplexnost faktorů, které ovlivňují poptávku. V této publikaci se používají obě slovní spojení.

3 Část budov využívá dálkové systémy dodávek tepla (emise z něj se započítávají v sektoru výroby elektřiny a tepla). Podrobněji se dekarbonizaci teplárenství věnuje kapitola *Výroba centrálního tepla (s. 109–123)*.

4 Velikost investic potřebných pro dekarbonizaci Česka cca do roku 2050 modelovalo například Centrum pro otázky životního prostředí na Univerzitě Karlově pro Vnitrostátní plán ČR v oblasti energetiky a klimatu.

→ [Ministerstvo průmyslu a obchodu. \(2024\). *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*. \[Dostupné online\]](#)

5 Ekologičnost se dříve spojovala především s nutností uskromnit se, nebo dokonce obětovat prosperitu. Toto chápání vyplývalo z technologické reality 70. let, kdy environmentální hnutí vznikalo. Z tehdejšího pohledu jedinou cestou, jak snížit emise skleníkových plynů (v situaci, kdy se energie vyráběla převážně z fosilních zdrojů) bylo spotřebovávat méně energie, tedy v principu se uskromnit. Současné možnosti snižování emisí a energetických úspor jsou zásadně jiné, neboť jsou už k dispozici rozvinuté obnovitelné zdroje a další nízkouhlíkové technologie, a dekarbonizace tedy mnohem více než v uskromnění spočívá v tom, jak společnost dokáže těchto možností využít.

6 Potenciály uvedené v tabulce kvantifikují možnosti snížení emisí pomocí technologických opatření a nepočítají s podstatnými změnami spotřebních vzorců. V mnoha případech totiž samotné snížení poptávky bez zavedení technologického řešení snižuje emise jen málo. Například snížení teploty vytápění v budově může snížit emise jen o cca 10 %, zatímco zateplení a instalace tepelného čerpadla sníží přímé emise prakticky na nulu. Podobně snížení potřeby se přepravovat (aniž by došlo k elektrifikaci dopravy) sníží emise méně než elektrifikace dopravy. V obou uvedených případech se ale změna ve spotřebním chování projeví na spotřebě energie. Významnou výjimkou je v tomto ohledu snížení potřeby mléčných výrobků a hovězího masa, které by mělo podstatný vliv na emise ze zemědělství (v tabulce je uveden pouze potenciál snížení pomocí technologií, resp. v tomto případě pomocí šlechtění dobytka a změn ve složení krmných směsí)

Realizace potenciálů na snížení emisí, které jsou uvedeny v tabulce, by vedla dohromady ke snížení emisí ČR o 66,5 % (pouze ABC), resp. o 88,1 % (ABCDE). Dalšího snížení emisí je možné dosáhnout jednak

změnami spotřebních vzorců (v letecké dopravě nebo v zemědělství), tak zvyšováním ukládání uhlíku v lesní biomase a půdě nebo technologickým zachytáváním a ukládáním uhlíku (technologie DAC).

V různých kategoriích je snižování emisí různě obtížné a nákladné. Bližší představu o potřebných krocích a jejich obtížnosti lze získat v jednotlivých kapitolách této knihy, v další literatuře a nakonec také aktivní snahou opatření realizovat..

7 Viz scénář představený v kapitole Výroba elektřiny, který je založen na vlastním modelování analytického týmu Fakta o klimatu. V tomto scénáři se emise sníží o 90–95 % (záleží na tom, kolik zbylého zemního plynu nahradí biometan, vodík či plyn v kombinaci s technologií CCS).

→ [Krčál, J., Kolouch Grabovský, M. a Přibyla, O. \(2024\). *Cesty k čistě a levně elektřině v roce 2050. Fakta o klimatu*. \[Dostupné online\]](#)

8 Detaily popisuje kapitola Výroba centrálního tepla. Hlavním limitem může být nemožnost nasadit v podmínkách českých tepláren velká tepelná čerpadla a akumulaci tepla (příp. malé modulární reaktory). Bez těchto technologií je takové snížení emisí nemyslitelné.

9 Za pravděpodobný scénář pro dekarbonizaci výroby oceli považujeme přechod na obloukové pece (tedy elektrifikaci), které umožňují zpracovávat železný šrot. Pro dekarbonizovanou výrobu surového železa Česko nejspíše nebude mít vhodné podmínky – nemá železnou rudu, levné energie ani infrastrukturu na ukládání CO₂ (výpočet potenciálu snížení emisí tedy s touto výrobou nepočítá). V Evropě se surové železo pravděpodobně bude vyrábět přímou redukcí vodíkem, příp. využitím koksu v kombinaci s technologií CCS.

10 Částečná výroba tepla pomocí elektřiny nebo biomasy nepřinese velké snížení emisí z výroby cementu, vápna a skla. Hlavní cestou pro téměř úplnou dekarbonizaci těchto výroby je využití technologie CCS, u které se očekává, že by v budoucnu mohla zachytit až 90 % emisí, viz např.:

→ [World Economic Forum. \(2023\). *Cement industry net-zero tracker*. \[Dostupné online\].](#)

→ [Možnostmi ukládání CO₂ v ČR se zabývá tento vládní dokument:](#)

→ [Ministerstvo životního prostředí. \(2025\). *Akční plán rozvoje technologií zachytávání, využití a ukládání oxidu uhličitého v ČR*. \[Dostupné online\].](#)

11 Uvažovaný potenciál pro snížení emisí v českém chemickém průmyslu pomocí elektrifikace je konzervativní (50% snížení), přestože některé zdroje uvádějí vyšší hodnoty. (Například podle [BloombergNEF. \(2024\). *New Energy Outlook 2024*. \[Dostupné online\]](#) lze celosvětově dekarbonizovat v průměru 60 % emisí v chemickém průmyslu pomocí elektrifikace výroby procesního tepla a pomocí úspor.) Zde jsou navíc emise z chemického průmyslu uvedeny dohromady s emisemi ze spalování fosilních paliv při rafinaci ropy, neboť rafinace ropy s chemickým průmyslem úzce souvisí. V důsledku elektrifikace dopravy v dekarbonizovaném světě významně klesne poptávka po benzínu a naftě, což se projeví dalším snížením emisí z rafinace ropy. Reálný potenciál snížení emisí v chemickém průmyslu pomocí elektrifikace tedy může být ještě vyšší.

12 Podle studie [BloombergNEF. \(2024\). *New Energy Outlook 2024*. \[Dostupné online\]](#) může kombinace elektrifikace a bioenergie snížit emise až o 90 %.

13 Fluorované plyny neboli F-plyny je skupina technických plynů obsahujících fluor (SF₆, HFC, PFC). Jde o velmi silné skleníkové plyny a často také o plyny, které poškozují ozónovou vrstvu. Používají se v chladicích

zařízeních, klimatizacích, systémech na hašení požárů nebo ve vysokonapěťových spínačích. Emise s nimi související jsou především důsledkem úniků těchto plynů (např. kvůli netěsnosti nebo při likvidaci zařízení). Jejich použití je silně regulováno a postupně dochází k jejich nahrazování méně škodlivými variantami. Tato publikace se nahrazování F-plynů v souvislosti s dekarbonizací podrobně nevěnuje.

→ [Wikipedia contributors. \(2025\). *Fluorinated gases*. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. \[Dostupné online\]](#)

→ [European Commission. *Climate Action: Fluorinated greenhouse gases*. \[Dostupné online\]](#)

14 Oblast elektrifikace dopravy se v posledních letech dynamicky vyvíjí. Elektrická osobní auta a lehké nákladní dodávky už v mnoha ohledech dokáží konkurovat autům se spalovacími motory, v některých zemích už mají dokonce na trhu dominantní podíl. Proměna vozového parku je však relativně pomalá, takže snižování emisí v tomto sektoru může ještě 20–30 let trvat. Aktuální trendy shrnují například tyto reporty:

→ [BloombergNEF. \(2025\). *Electric Vehicle Outlook 2025*. \[Dostupné online\]](#)

→ [International Energy Agency. \(2025\). *Global EV Outlook 2025*. \[Dostupné online\].](#)

15 Viz předchozí poznámku

16 Elektrifikace těžké nákladní dopravy se ukazuje být mnohem komplikovanější, ale i zde by mohla být hlavním řešením. Je také možné, že se v nákladní dopravě prosadí pokročilá biopaliva, auta s vodíkovým pohonem nebo využití syntetických paliv. Aktuální trendy shrnují například reporty [BloombergNEF. \(2025\)](#).

→ [BloombergNEF. \(2025\). *Electric Vehicle Outlook 2025*. \[Dostupné online\]](#)

→ [International Energy Agency. \(2025\). *Global EV Outlook 2025*. \[Dostupné online\].](#)

17 Letecká doprava se řadí mezi sektory náročné na dekarbonizaci. Část emisí může mitigovat používání biopaliv nebo syntetických leteckých paliv. Z dnešního technologického výhledu však zatím není jasné, jestli lze těmito způsoby a bez snížení poptávky po letecké dopravě eliminovat 100 % emisí.

→ [International Energy Agency. *Aviation*. \[Dostupné online\]](#)

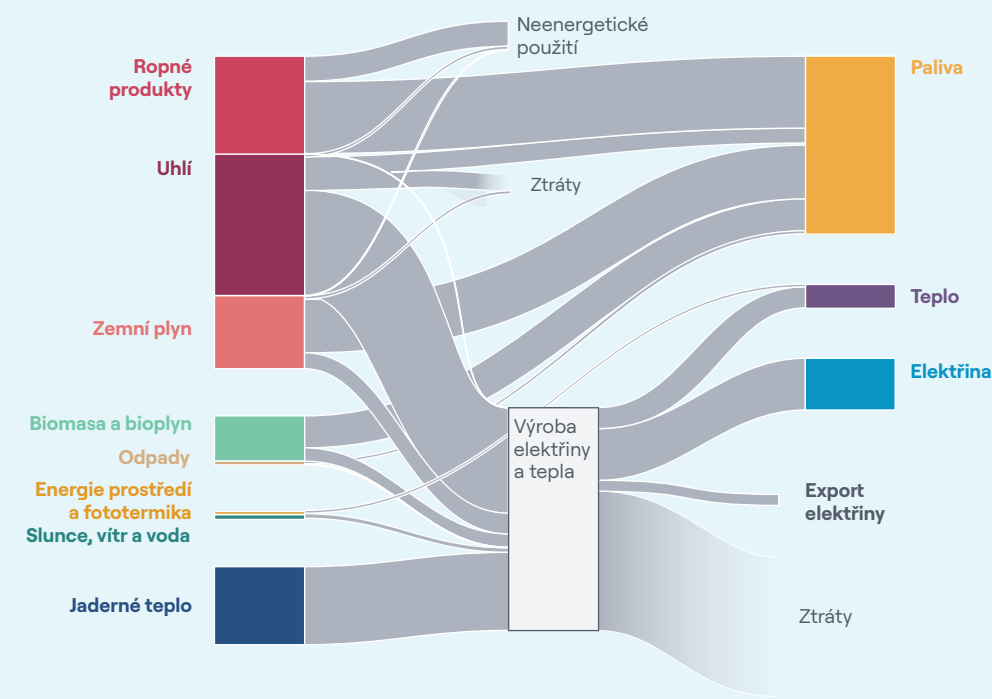
→ [European Commission. *Climate Action: Reducing emissions from aviation*. \[Dostupné online\]](#)

18 Zateplování a elektrifikace vytápění (zejm. využití tepelných čerpadel) může v podstatě eliminovat téměř veškeré emise související s vytápěním budov a ohřevem teplé vody. Pro některé budovy může být vhodným řešením využití solárních termických kolektorů nebo odpadního tepla. Pro některé budovy v určitých částech území (např. v historických centrech měst) mohou být zateplování nebo instalace tepelného čerpadla příliš komplikované a jako nejlepší řešení se může ukázat využití biometanu nebo zemního plynu z plynové distribuční soustavy. Rychlost dekarbonizace tohoto sektoru určuje počet provedených renovací.

19 Viz kapitolu *Hospodaření v krajině (s. 185–194)*

20 O možnostech snižovat N₂O z hnojiv pojednává podrobněji zpráva Mezinárodní asociace pro hnojiva. Ukazuje, že zlepšením tzv. nutrient efficiency a dalšími technologickými postupy by mohly globální emise z používání hnojiv klesnout o 69–72 %.

→ [International Fertilizer Association. \(2022\). *Reducing emissions from fertilizer use*. \[Dostupné online\]](#)



Toky energie v ČR za rok 2022

Přehled energetiky

Závislost energetiky na spalování fosilních paliv

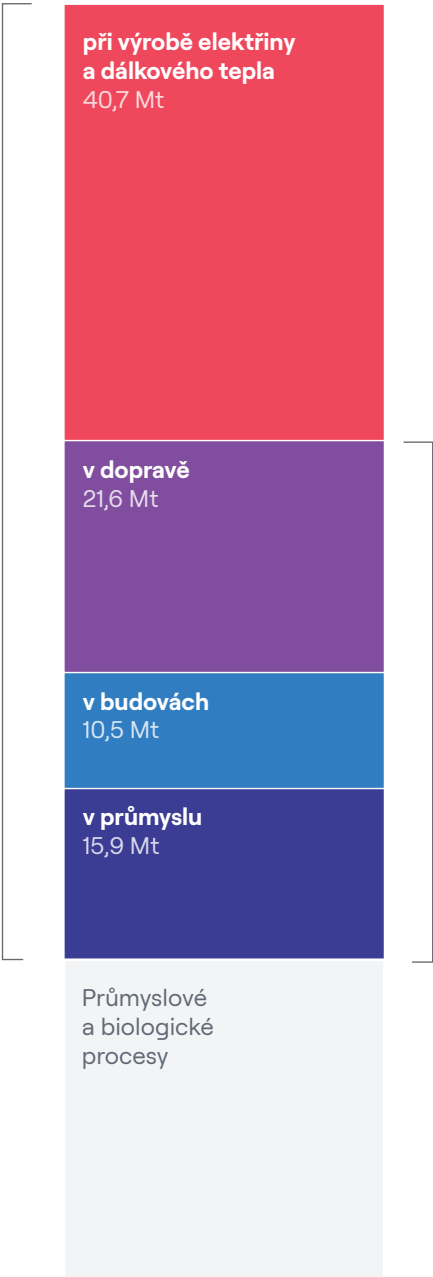
PROBLÉM

75 % českých emisí skleníkových plynů je ze spalování fosilních paliv*

Energetika není pouze výroba elektřiny a tepla, ale zahrnuje veškeré nakládání s energií – tedy také dopravu, vytápění budov a výrobní procesy v průmyslu, jež vyžadují vysoké teploty.

* spalování fosilních paliv je také významným zdrojem znečištění ovzduší – i to transformace energetického sektoru pomůže řešit

EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ ČR V ROCE 2022



ŘEŠENÍ

Vyrobít dostatek energie bez fosilních paliv

Na dostupnosti energie stojí dnešní prosperita a vysoká životní úroveň.

C Bezemisní výroba elektřiny a tepla

Proměnit sektory s největší spotřebou energie

Proměna je potřeba, aby sektory energií vyrobenou bez fosilních paliv dokázaly využívat. V dopravě, budovách i průmyslu jde hlavně o elektrifikaci a energetické úspory.

A Energetické úspory

B Elektrifikace

D Technologické postupy a syntetická paliva

Dekarbonizace energetiky spočívá především v tom, že se stejné energetické potřeby naplní efektivněji a s nižšími emisemi skleníkových plynů.

Toto je hlavní část transformace energetiky a o tom je tato kapitola.

Další opatření ke snížení emisí. Zbylé emise, které se nepodaří eliminovat jinak, lze zčásti zachytit a uložit. Dekarbonizaci energetiky by také mohl usnadnit energeticky úspornější životní styl a větší flexibilita na straně spotřeby.

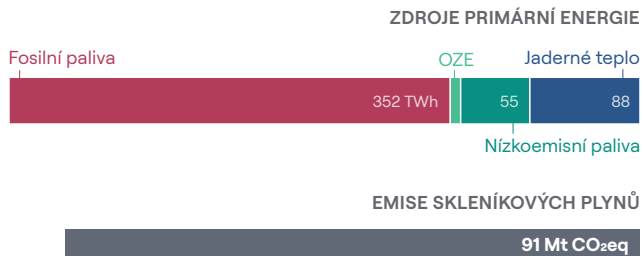
E Zachytávání a ukládání CO₂

F Změny spotřebních vzorců

Jak dnes vypadá česká energetika?

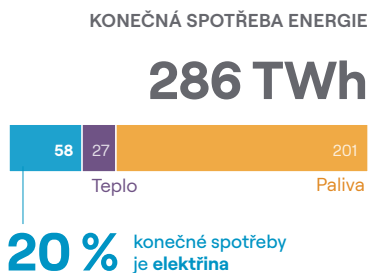
Energetika Česka stojí ze 70 % na fosilních palivech

Část z toho je domácí uhlí. Větší část je ale importovaná ropa pro pohonné hmoty a chemický průmysl a importovaný zemní plyn pro budovy, průmysl i výrobu elektřiny a tepla. Se spalováním fosilních paliv přímo souvisí emise skleníkových plynů – okolo 90 Mt CO₂eq ročně, což jsou ¾ emisí Česka. Další významné zdroje energie jsou jaderné teplo (17 %) a různé formy biomasy (10 %).



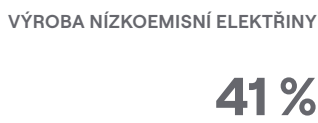
Elektřina tvoří jen 20 % konečné spotřeby energie

Elektřina dnes v Česku tvoří jen malou část energie, kterou spotřebují koncoví zákazníci – v budovách, průmyslu i dopravě. Velká většina této spotřeby (80 %) je ve formě jiných nosičů energie: hlavně pohonných hmot a zemního plynu. Kromě toho se využívá ještě pevná biomasa (dřevo, štěpka, pelety apod.), uhlí a centrální teplo (na vytápění budov i v průmyslu).



Elektřiny se v Česku vyrábí nízkoemisně jen 41 %

Zbývajících cca 60 % je z fosilních paliv. To je jen o málo nižší podíl než výše zmíněných 70 % u celkového mixu zdrojů energie. Nejvíce nízkoemisní elektřiny se dnes v Česku vyrábí z jádra, naopak podíl obnovitelných zdrojů elektřiny je zde nejnižší ze všech zemí EU.



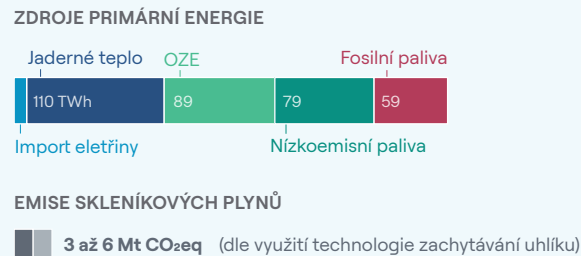
Spotřeba elektřiny jen málo reaguje na možnosti výroby

Výroba se dnes z větší části přizpůsobuje spotřebě (rozdílnou spotřebu ve dne a v noci pomáhají řešit např. přečerpávací elektrárny). Dlouhodobě se v Česku využívá pouze systém tzv. vysokého a nízkého tarifu, který umožňuje přizpůsobovat spotřebu některých zařízení (např. elektrokotlů nebo akumulačních kamen) možnostem výroby.

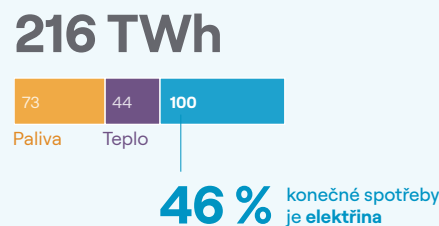


Zdroj dat: ČHMÚ, Národní inventarizační dokument 2024 (data za rok 2022) a Eurostat, Complete energy balances (dataset nrg_bal_c, průměr za roky 2018–2022)

Jak by mohla vypadat v budoucnu?



KONEČNÁ SPOTŘEBA ENERGIE



VÝROBA NÍZKOEMISNÍ ELEKTŘINY

96 %

FLEXIBILITA SPOTŘEBY ELEKTŘINY

vysoká

obzvláště pro pomalé dobíjení aut, výrobu tepla a chladu, v teplárnách

Zdroj dat: vlastní zpracování (scénář možné budoucnosti, tedy téměř dekarbonizovaného Česka, popisují str. 60–63)

Odklonem od fosilních paliv by emise klesly o cca 95 %

Velkou část fosilních paliv může nahradit pestrý mix zdrojů: obnovitelné zdroje elektřiny a tepla, jaderná energie a nízkoemisní paliva (např. různé formy biomasy, nízkoemisní vodík). Část fosilních paliv bude používána nadále jako chemická průmyslová surovina a na činnosti, které se dekarbonizují obtížně. Díky úsporám energie ovšem může stačit celkově méně zdrojů energie.

Elektřina může tvořit zhruba polovinu konečné spotřeby energie

Výrazná elektrifikace dopravy i vytápění budov by znamenala dvě věci: jednak by významně vzrostl podíl elektřiny na konečné spotřebě energie a jednak by elektrifikace mohla díky vyšší účinnosti přinést (spolu s energetickými renovacemi budov) podstatné snížení spotřeby energie – až o čtvrtinu. I tak by se na více než polovinu spotřeby nadále využívalo něco jiného než elektřina: nízkoemisní paliva (biomasa, biometan, v malé míře i vodík), centrální teplo, teplo okolního prostředí (které zdarma využívají tepelná čerpadla) a v malé míře též fosilní paliva.

Nízkoemisní elektřiny může Česko vyrábět až 96 %

Výroba z nízkoemisních zdrojů by ale v takovém případě musela oproti současnosti stoupnout asi 2,7×. Předpokladem této proměny je výrazný nárůst solární a větrné energetiky spolu s růstem jaderné energetiky.

Spotřeba elektřiny může být mnohem flexibilnější

Díky tomu bude možné dobře využít proměnlivou solární a větrnou výrobu. Spotřebu elektřiny v dopravě a při vytápění budov lze zčásti chytře řídit a tím ji přizpůsobovat možnostem výroby. Celý energetický systém tak může více „dýchat“ v rytmu proměnlivého počasí a přitom si udržet současnou spolehlivost.

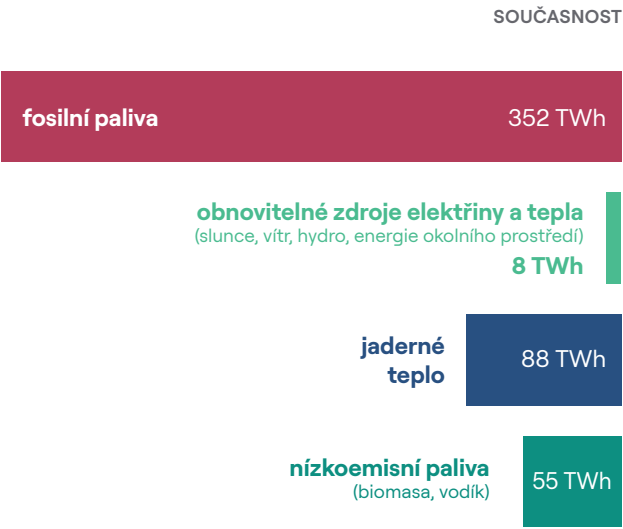
Dekarbonizace české energetiky v číslech

TWh (terawatthodina) je množství energie,¹ které např. Praha spotřebuje ve formě elektřiny cca za 2 měsíce, nebo Karlovarský kraj spotřebuje ve formě zemního plynu cca za půl roku.

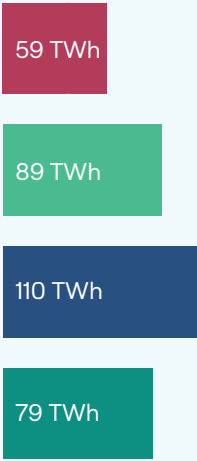
PRIMÁRNÍ ENERGIE

Z čeho získáváme energii

V současnosti je využití primární energie v Česku okolo 500 TWh ročně. To však zahrnuje i ztráty, např. při výrobě elektřiny v uhelných elektrárnách. Výroba z obnovitelných zdrojů a další dekarbonizační kroky by snížením ztrát umožnily naplnit energetické potřeby pouze s cca 340 TWh ročně. Potřebná primární energie je tedy o třetinu nižší.



MOŽNÁ BUDOUCNOST



KTERÉ ZMĚNY JSOU KLÍČOVÉ?

Využití **fosilních paliv** může klesnout cca z 350 TWh na 60 TWh

10× může v Česku vzrůst využití energie ze **slunce, větru a okolního prostředí**

KONEČNÁ SPOTŘEBA

Jak ji spotřebováváme

V současnosti je konečná spotřeba cca 290 TWh ročně, přičemž velkou část z toho tvoří spalování ropných produktů a plynu. Díky energetickým úsporám a elektrifikaci je však možné zajistit stejný komfort pro domácnosti a dostatek energie pro průmysl pouze s cca 215 TWh ročně. Tedy s konečnou spotřebou zhruba o čtvrtinu nižší než v současnosti.



MOŽNÁ BUDOUCNOST



Spotřebu **paliv** nahradí z velké části **elektřina**. Její podíl v konečné spotřebě může vzrůst z 20 % na 46 %

Zdroj dat: Eurostat, Complete energy balances (dataset nrg_bal_c, průměr za roky 2018–2022)

Zdroj dat: vlastní zpracování (scénář možné budoucnosti, tedy téměř dekarbonizovaného Česka, popisují str. 60–63)

Toky energie: od primárního zdroje ke koncovému spotřebiteli

Pro pochopení dekarbonizace a přemýšlení nad budoucí podobou energetiky je nutné pochopit toky energie. Tedy jaké získáváme primární zdroje energie, jak je transformujeme a jak vyrobenou energii spotřebováváme.

Co je hlavním úkolem moderní energetiky?

Úkolem energetiky je zajistit dostatek **primární energie** a vyřešit její **transformaci** na elektřinu či jiné využitelné formy. Poté musí tuto transformovanou energii dostat ke **spotřebitelům**.

Z čeho získáváme energii

Primární energie



Primární energie je energie ve své původní (surové) podobě² – např. v **uhlí, ropě, zemním plynu, biomase, jaderném teple** nebo **větrné a solární energii**. V této podobě energii obvykle neumíme využít a potřebujeme ji nejprve transformovat (např. na elektřinu či benzín) a dopravit ke koncovým spotřebitelům.

Statistika primární energie dobře ukazuje, do jaké míry je daný stát závislý na různých druzích paliva, a umožňuje tedy posuzovat i energetickou bezpečnost. Nelze z ní však vyčíst, kolik energie je nakonec využito – během transformace a transportu se významná část energie může ztratit.

Transformace a transport

Transformace energie je proces, při němž se primární energie přeměňuje na formu, kterou lze snadno využít. Například z uhlí se v elektrárnách vyrábí elektřina, která se poté transportuje ke spotřebitelům.

Část primární energie neprochází žádnou transformací: například většina zemního plynu v Česku je pomocí plynárenské soustavy transportována přímo ke koncovým spotřebitelům.

Další příklady transformace primární energie:
→ v rafineriích se z ropy vyrábí pohonné hmoty,
→ v koksárnách se z uhlí vyrábí koks.

Energetické ztráty

Při transformaci a transportu energie dochází ke ztrátám, často velmi významným. Proto je vždy konečná spotřeba energie nižší než primární energie.

Co vše zahrnují ztráty?

- Ztráty **při transformaci**. Například v uhelné elektrárně se na elektřinu přemění jen asi 40 % energie obsažené v uhlí. Zbývajících 60 % se při této přeměně ztratí jako odpadní teplo.
- **Vlastní spotřeba sektoru energetiky** (z pohledu celého systému jde také o ztráty). Část vyrobené elektřiny se spotřebuje přímo v elektrárně (např. při mletí uhlí) nebo uhelném lomu, část ropy se spotřebuje v rafinerii apod.
- Ztráty **při akumulaci elektřiny**. Například přečerpávací vodní elektrárna vyrobí jen asi 75 % elektřiny, kterou sama spotřebuje.
- Ztráty **při transportu**. Například ztráty v sítích – při přenosu a distribuci elektřiny nebo plynu.

Jak ji spotřebováváme

Konečná spotřeba energie

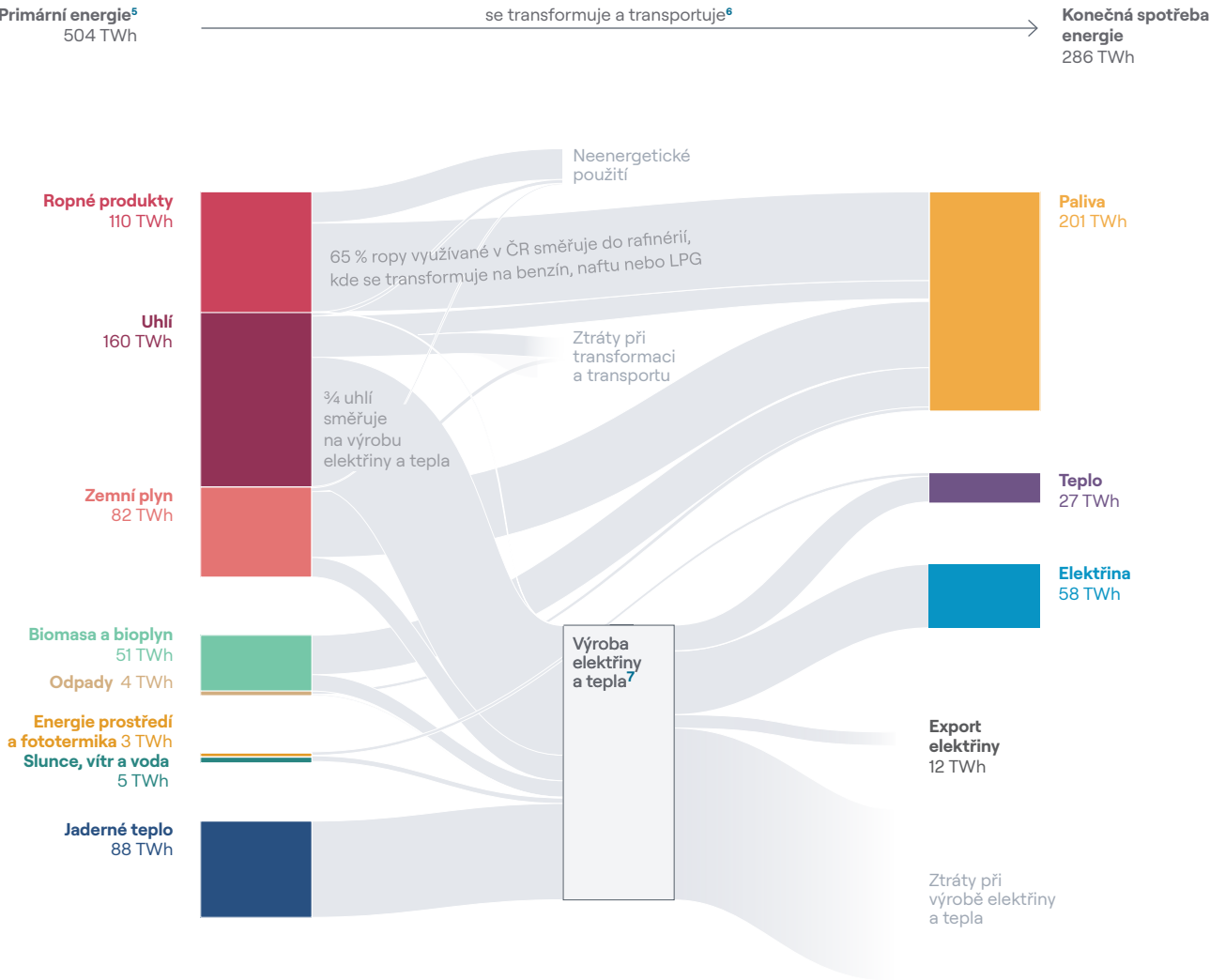


Konečná spotřeba je energie, kterou skutečně využijí domácnosti, instituce, firmy, průmyslové podniky a další. Zjednodušeně řečeno: je to ta energie, kterou mají uvedenou na fakturách a účtenkách. Je to například:

- **Elektřina**. S ní domácnosti svítí a využívají ji na provoz spotřebičů, továrnám slouží na pohon strojů apod.
- **Teplo**. Na faktuře jsou uvedeny dodávky centrálního tepla, které k vytápění budov vyrábí teplárny.³
- **Paliva**. Benzín pohání auta, zemní plyn se využívá v průmyslové výrobě nebo k lokálnímu vytápění v budovách, stejně jako biomasa.

Toky energie v Česku

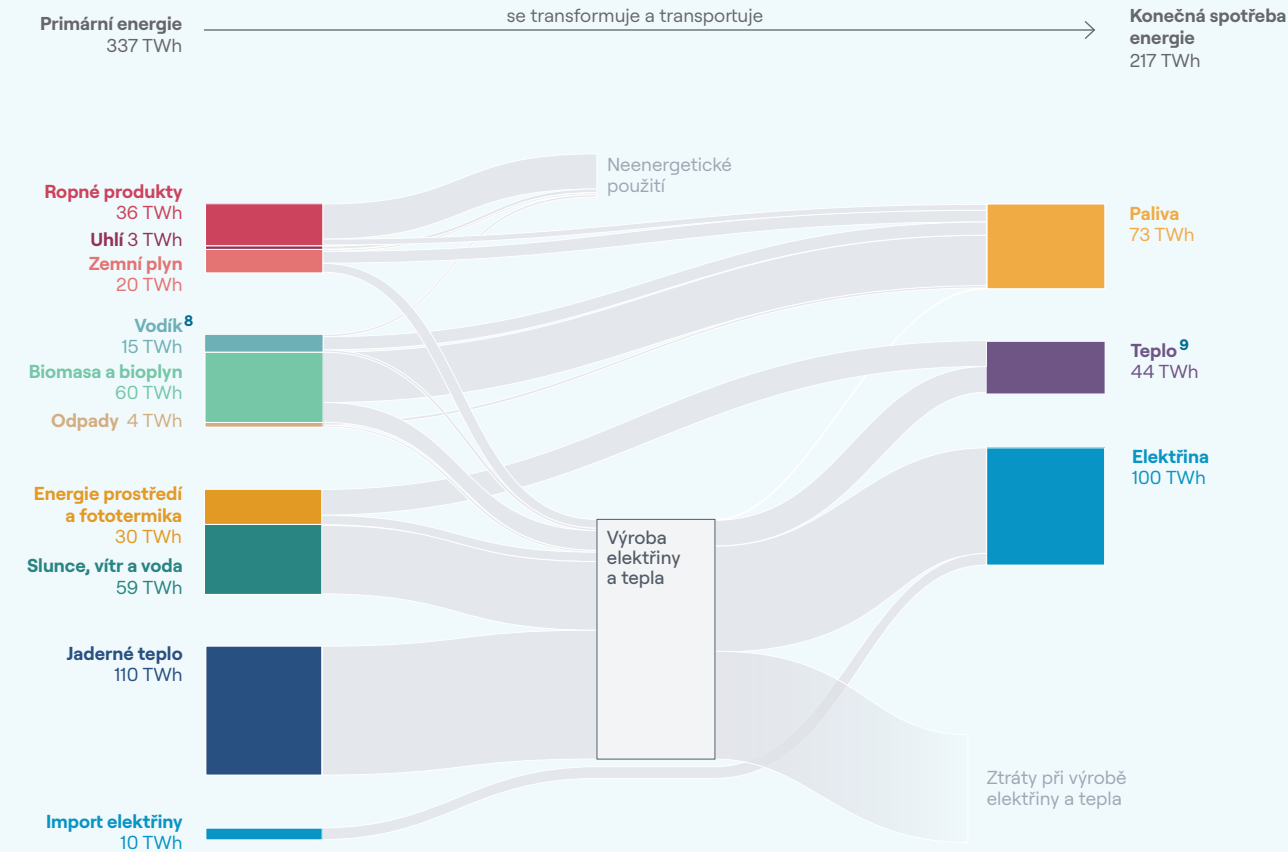
Graf níže ukazuje, že fosilní paliva dnes v Česku tvoří 70 % primární energie. Nemalá část této energie se ztratí při transformaci a transportu, hlavně při výrobě elektřiny a tepla. Také v konečné spotřebě mají v současnosti fosilní paliva zásadní roli (80 % všech spotřebovávaných paliv).



Zdroj dat: Eurostat, Complete energy balances (dataset nrg_bal_c, průměr za roky 2018–2022)⁴

Jak by mohly vypadat v budoucnu?

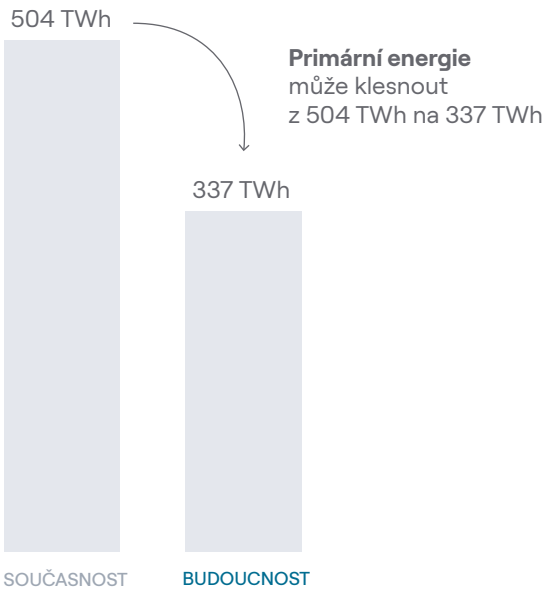
Graf níže ukazuje, jak by mohly vypadat toky energie v téměř dekarbonizovaném Česku (při zachování současné životní úrovně). Změnila by se výroba i konečná spotřeba, mnohem více by se využívala nízkoemisní elektřina a v menší míře také nízkoemisní paliva jako biomasa, biometan nebo vodík. Fosilní paliva by měla okrajovou roli a také ztráty by byly výrazně nižší než dnes.



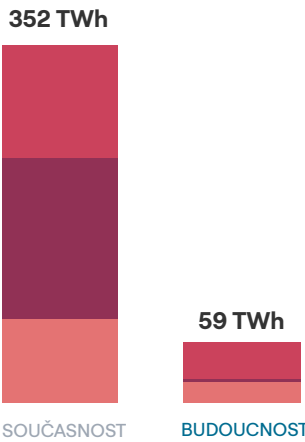
Zdroj dat: vlastní zpracování (scénář možné budoucnosti, tedy téměř dekarbonizovaného Česka, popisují str. 60–63).

Proměna využití primární energie v téměř dekarbonizovaném Česku

K udržení vysoké životní úrovně v Česku by mohlo stačit výrazně méně primární energie než dnes.



CELKOVÁ PRIMÁRNÍ ENERGIE



Využití fosilních paliv klesne cca z 350 TWh na 60 TWh

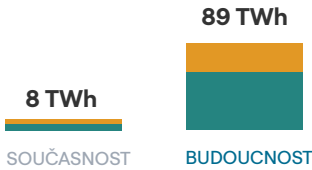
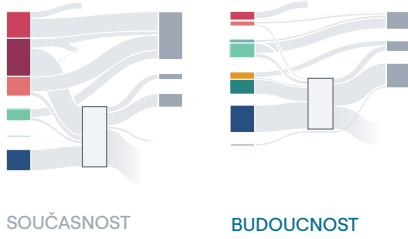
Většina fosilních paliv se v současnosti spaluje při výrobě elektřiny a tepla a na pohon vozidel. Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů a elektrifikace dopravy a vytápění by mohly snížit spalování fosilních paliv z 320 TWh na 25 TWh ročně, tedy na méně než desetinu. S tím spojené **emise CO₂ by klesly o 95 %**. Kromě spalování se skoro 35 TWh fosilních paliv ročně využívá jako surovina v chemickém průmyslu.¹⁰

Scénář dekarbonizace používaný v této publikaci počítá se zbytkovým využíváním zemního plynu, zejména pro výrobu elektřiny a tepla a pro vysokoteplotní procesy v průmyslu. Související emise by bylo možné eliminovat zachytáváním uhlíku.

Dekarbonizace sníží závislost Česka na dovozu fosilních paliv

Pro Česko, závislé na dovozu ropy a zemního plynu, představuje dekarbonizace cestu k **posílení energetické bezpečnosti**. Díky dekarbonizaci by se totiž spotřeba těchto paliv výrazně snížila – ropa by se využívala hlavně jako surovina pro chemický průmysl (stačila by necelá třetina dnešního využití), zemní plyn by sloužil hlavně v průmyslu a jako záložní zdroj pro výrobu elektřiny a tepla (plynu by oproti současnosti stačila méně než čtvrtina). Čím menší objem těchto paliv bude Česko dovážet, tím méně bude jeho energetika zranitelná. Dnes Česko dováží více než 40 % primární energie, v budoucnu to může být méně než 20 %.

Zdroj dat: Eurostat, Complete energy balances (dataset nrg_bal_c, průměr za roky 2018–2022) (pro současnost) a vlastní zpracování (pro možnou budoucnost, podrobněji popsáno na s. 60–63).



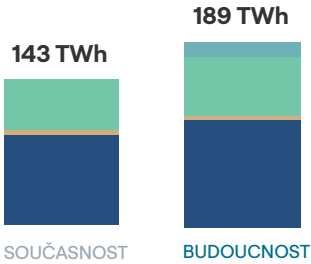
Desetinásobně naroste využití energie ze slunce a větru

Česko v současnosti potenciál **větrné energie** téměř nevyužívá. Přitom má země vhodné lokality s dobrými podmínkami pro její efektivní využití. V těchto oblastech by mohly stát větrné elektrárny, které by s ohledem na ochranu přírody a potřebné vzdálenosti od obcí mohly pokrýt až čtvrtinu české spotřeby elektřiny.

Podobně významný potenciál skýtá i **solární energie**. Solární elektrárny by taktéž mohly v Česku produkovat přibližně čtvrtinu celkové spotřeby elektřiny.

Do primární energie spadá též využití energie **okolního prostředí** pomocí tepelných čerpadel. Další možností dekarbonizace vytápění jsou solární kolektory pro ohřev vody. Dohromady mohou tyto zdroje obnovitelného tepla narůst asi desetinásobně.

Více o možnostech výroby elektřiny ze slunce a z větru najdete na *str. 76–str. 79*.



Role ostatních primárních zdrojů se zásadně nepromění

Ostatní primární zdroje energie (mimo slunce, vítr a okolní prostředí) z hlediska objemu výroby narostou v Česku jen mírně.

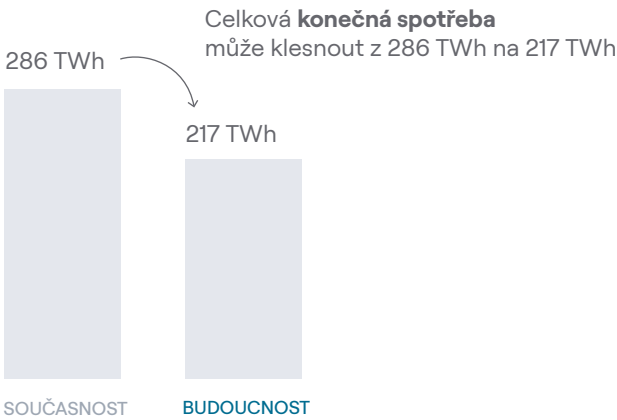
Mírné navýšení **výroby z jádra** je spojeno s plánovanou výstavbou dalších velkých bloků a také s očekávaným využitím malých modulárních reaktorů (SMR). Limitem pro rozvoj jaderných zdrojů (zejm. u velkých elektráren) jsou vysoké investiční náklady a pomalé tempo výstavby.

Desetinu primární energie dnes v Česku tvoří různé formy **bioenergie** (biomasa, bioplyn, biopaliva). Budoucnost může přinést například vyšší využití biometanu, zejména pro kogeneraci elektřiny a tepla a jako záložního zdroje. Potenciál bioenergie je však omezen dostupností zemědělské půdy.

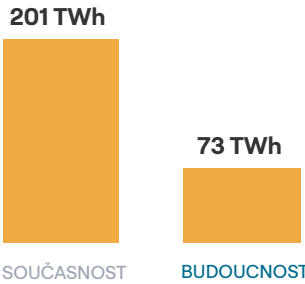
Roli může hrát také **energetické využití vodíku**, z hlediska celkového objemu energie však bude mít vodík spíše doplňkový charakter.

Proměna konečné spotřeby energie v téměř dekarbonizovaném Česku

Dekarbonizace může přinést výrazné úspory energie. Konečná spotřeba může klesnout o 25 %, zčásti díky elektrifikaci a vyšší účinnosti, zčásti díky úsporám z renovací budov a modernizace v průmyslu.



CELKOVÁ KONEČNÁ SPOTŘEBA



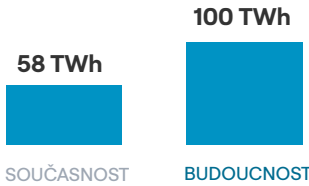
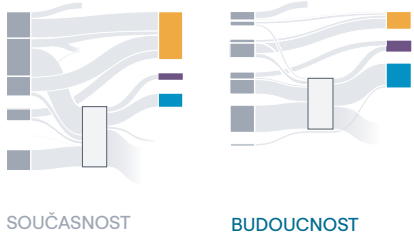
Konečná spotřeba ve formě paliv klesne cca z 200 TWh na 75 TWh

Část energie v konečné spotřebě má formu paliv, jako je benzín do auta nebo zemní plyn na topení a vaření. V současnosti tato spotřeba paliv dosahuje zhruba 200 TWh ročně.

V dekarbonizovaném světě jsou benzínová auta nahrazena elektromobily, což téměř úplně eliminuje spotřebu ropy. Také spotřeba plynu v budovách může klesnout na méně než pětinu současné spotřeby díky tepelným čerpadlům a lepšímu zateplení domů. Celková konečná spotřeba ve formě paliv tak může klesnout na cca 75 TWh ročně.

Paliva v dekarbonizovaném světě tak budou téměř výhradně nefosilní. Půjde o dřevo a dřevní odpad, biometan (např. z organického odpadu) a biopaliva, celkově jen v mírně větším množství než dnes. Pro energeticky náročné procesy v průmyslu by bylo možné kromě zemního plynu používat biometan nebo vodík (tento scénář možné budoucnosti počítá s importem vodíku v objemu 15 TWh ročně).

Zdroj dat: Eurostat, Complete energy balances (dataset nrg_bal_c, průměr za roky 2018–2022) (pro současnost) a vlastní zpracování (pro možnou budoucnost, podrobněji popsáno na str. 60–63).



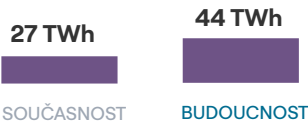
Konečná spotřeba ve formě elektřiny vzroste cca z 60 TWh na 100 TWh

Elektrifikace dopravy, průmyslu a budov významně zvýší spotřebu elektřiny. V našem scénáři dekarbonizované budoucnosti počítáme se zvýšením ze současných 60 TWh ročně na 100 TWh.

Nárůst spotřeby elektřiny se může zdát překvapivě malý, protože nahrazuje cca 125 TWh energie ve formě paliv. Potřeby však elektřina pokryje díky vyšší účinnosti jejího využití a díky dalším úsporám energie.

Konkrétně spalovací motory v autech mají účinnost okolo 30 %, zatímco elektromotor dosahuje účinnosti 90 %. Proto k nahrazení 80 TWh benzínu či nafty stačí přibližně 26 TWh elektřiny.

V budovách hraje roli jak účinnost tepelných čerpadel, tak zateplování – k nahrazení 40 TWh fosilních paliv stačí cca 10 TWh elektřiny.



Konečná spotřeba ve formě tepla vzroste o cca 60 % zejména díky energii okolního prostředí

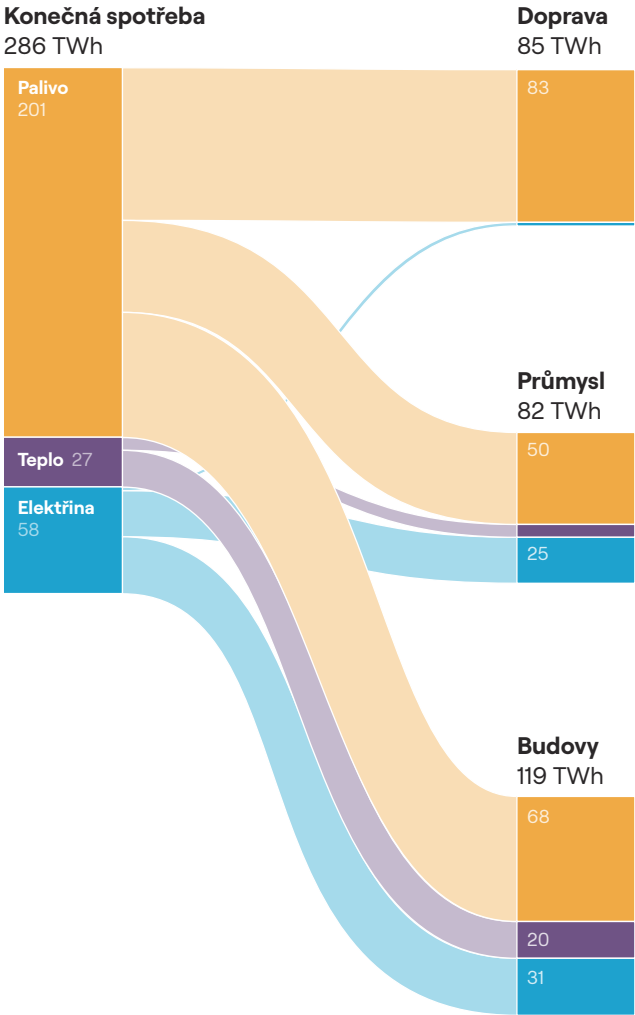
V dekarbonizované budoucnosti zůstane centrálně vyráběné teplo důležitou součástí konečné spotřeby energie. Objem jeho výroby zůstane přibližně stejný, ale významně se promění způsob výroby. Zatímco dnes se vyrábí zejména v uhelných a plynových teplárnách a výtopnách, v budoucnu bude možné využívat širokou paletu technologií jako jsou například velká tepelná čerpadla využívající teplo ze země či z odpadních vod, kogenerační jednotky, nebo solární kolektory.

Co je zahrnuto do konečné spotřeby ve formě tepla?

Kromě centrálního tepla se započítává také energie okolního prostředí a solární energie, kterou získávají tepelná čerpadla či solární kolektory v jednotlivých budovách. S předpokládáním masivním rozšířením tepelných čerpadel se odhaduje až sedminásobný nárůst využití této formy energie v budovách. Naopak do spotřeby ve formě tepla nepatří lokálně vyráběné teplo z paliv.

Konečná spotřeba energie v Česku po sektorech

Grafy níže ukazují současnou konečnou spotřebu energie ve větším detailu, rozdělenou podle hlavních sektorů spotřeby.



Dopravu dnes pohání z 93 % fosilní pohonné hmoty.¹¹ Dalších 5 % jsou biopaliva a zbylá 2 % elektřina (hlavně pro vlaky a MHD, ale také pro elektromobily).

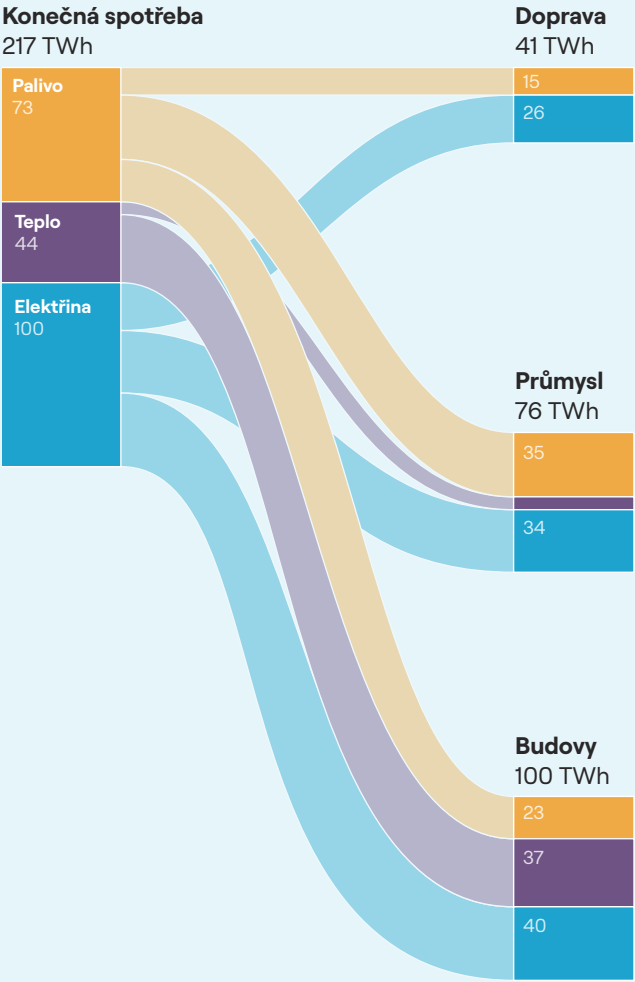
Průmysl dnes větší část energie získává spalováním paliv, převážně plynu a uhlí. Využívá také velké množství elektřiny i centrálního tepla – na výrobní procesy i na běžný provoz budov.

Budovy v současnosti spotřebují většinu energie, především na vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Toto teplo se buď dodává dálkově nebo vyrábí lokálně spalováním zemního plynu, dřeva či uhlí. Menší část spotřeby budov tvoří vaření, elektrické spotřebiče a osvětlení.

Zdroj dat: Eurostat, Complete energy balances (dataset nrg_bal_c, průměr za roky 2018–2022)

Jak by mohla vypadat v budoucnu?

K největší úspoře konečné spotřeby v budoucnu může dojít v dopravě (díky elektrifikaci) a v sektoru budov (díky energetickým renovacím).



Dekarbonizace **dopravy** znamená nahrazení většiny paliv elektřinou a díky účinnosti elektromotorů postačí k pokrytí stejných přepravních potřeb mnohem méně energie.¹² Pro segmenty, které se těžko elektrifikují (letadla, dálkové kamiony, zemědělská technika), bude stále potřeba energie ve formě paliv.

Budoucí spotřeba českého **průmyslu** se těžko odhaduje, protože se může výrazně proměnit jeho struktura. Při udržení podobné struktury jako v současnosti lze čekat pouze mírné úspory energie.

Část fosilních paliv nahradí elektřina, část biometan nebo vodík. V některých odvětvích průmyslu však mohou zůstat fosilní paliva.¹³

Budovy by díky zateplování mohly dosáhnout úspory až 20 % energie. Teplo zde zobrazené zahrnuje nejen centrální teplo, ale také teplo okolního prostředí, které pomocí elektřiny využívají tepelná čerpadla. Významným palivem pro domácnosti zůstane biomasa (dřevo, pelety, apod.).

Zdroj dat: vlastní zpracování (scénář možné budoucnosti, tedy téměř dekarbonizovaného Česka, popisují str. 60–63).

Výhody elektrifikace a její omezení

Dekarbonizace spočívá v tom, že co nejvíce elektřiny vyrobíme z nízkemisních zdrojů (např. jádro, vítr nebo slunce) a elektrifikujeme dopravu, pohon strojů a výrobu tepla všude tam, kde je to možné. Ve srovnání s využíváním fosilních paliv to přináší zásadní zvýšení energetické účinnosti a naopak podstatné výzvy okolo skladování energie.

Elektřina má vysokou účinnost využití

Většinu energie spotřebováváme proto, aby nám zajistila teplo nebo pohyb. Teplo může znamenat horkou vodu ve sprše, vyhřátý byt nebo vaření jídla. Pohyb představuje především dopravu auty a vlaky, ale i provoz strojů a domácích spotřebičů (jako soustruh nebo mixér). Spotřeba energie tak s sebou většinou nese převod jedné formy energie na jinou. Dříve jsme pro pohon využívali uhlí a parní stroj, dnes často benzín a spalovací motor. V budoucnu můžeme mnohem víc využívat elektřinu.

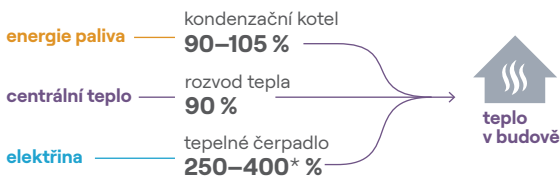
Účinnost využití energie:

důležitá pro co nejnižší ekologickou stopu a náklady energetiky (když se uspoří energie, stačí méně primárních zdrojů za méně peněz).

Elektromotor má třikrát vyšší **účinnost** než spalovací motor. Konkrétně ve spalovacím motoru se zhruba dvě třetiny energie paliva ztratí ve formě tepla (a proto musí mít chladič). V elektromotoru se na pohyb využije zhruba 90 % energie, která se získává z baterie. Podobně má tepelné čerpadlo vyšší účinnost než plynový kotel a indukční vařič vyšší účinnost než plynový. Elektrifikace tak přináší významné úspory v konečné spotřebě energie.¹⁴

Někde je elektřina až 3× účinnější

Vytápění budov

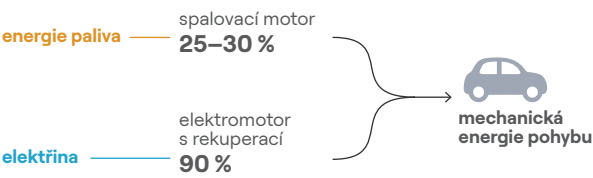


* Účinnost nad 100 % (vztažená vzhledem ke spotřebě elektřiny) je možná díky využití tepla okolního prostředí.

Vaření potravin



Pohon vozidel



Některé procesy nelze dobře elektrifikovat:

Například průmyslové procesy jako tavení skla nebo výpal cementu vyžadující extrémně vysoké teploty. Podobně není možné elektrifikovat leteckou a lodní dopravu. V těchto oblastech bude nadále potřeba energie z paliva.

Zdroj dat: vlastní zpracování

Elektřina se dobře transportuje ale špatně skladuje

Elektřina se dá velmi **efektivně transportovat** na velkou vzdálenost. Přenosová síť umožňuje přenášet do střední Evropy například energii z větrných farem v Severním moři. Jednotlivé části propojené sítí si tak mohou vypomáhat s výrobou podle svých momentálních možností, což zvyšuje robustnost celého systému a snižuje náklady.

Skladování energie:

důležité pro vyvažování proměnlivé výroby a spotřeby

Transport energie:

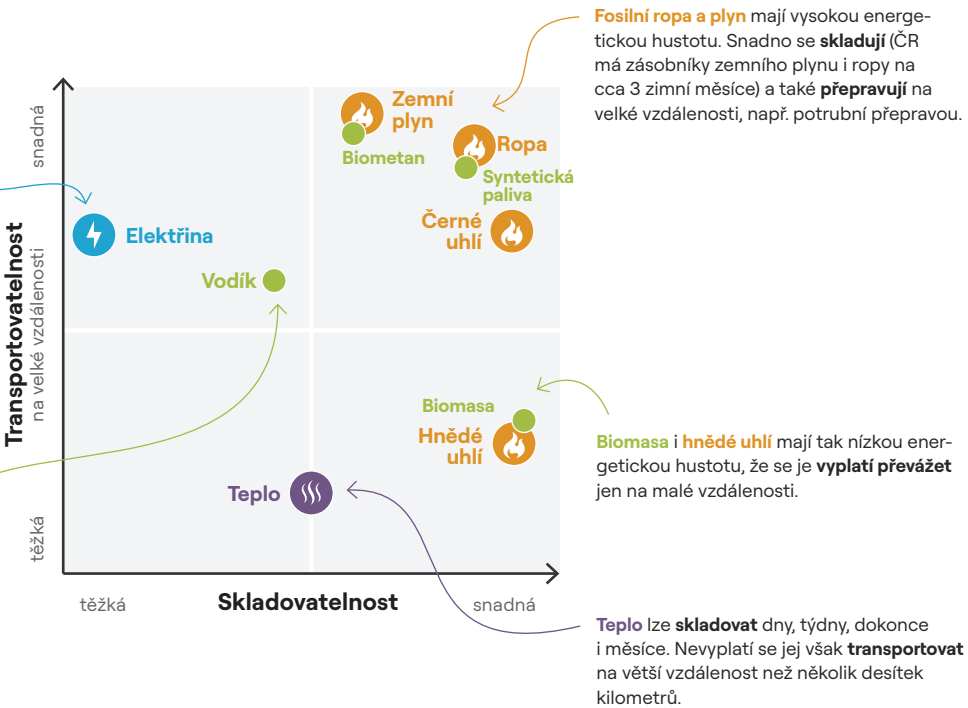
důležitý pro dostupnost energie (a prosperitu) ve všech zemích

Fosilní paliva se velmi snadno **skladují** ve velkých zásobnících. Proto když přijde chladné počasí, můžou lidé najednou výrazně zvýšit spotřebu plynu, který se může čerpat ze zásobníků. To v případě elektřiny nejde, a tak bude potřeba složitěji řešit neustálé vyrovnávání proměnlivé výroby elektřiny s její proměnlivou spotřebou.

Jak překonat omezení ve skladování elektřiny ukazují s. 58–59.

Elektřinu lze při vysokém napětí **dobře přenášet** na stovky nebo i tisíce kilometrů s nízkými ztrátami. **Skladovat lze těžko** – jen v jiné formě energie (např. v přečerpávací elektrárně jako potenciální energii vody nebo v baterii jako chemická energie).

Vodík by se mohl stát novým globálním nízkemisním palivem. Jeho **přeprava** ani **skladování** ale nejsou triviální, protože má velmi malou molekulu – stávající plynovody by bylo nutné upravit, zásobníky by zase vyžadovaly specifické geologické podmínky.



Zdroj dat: vlastní zpracování (umístění na schematické osy je pouze orientační)

Flexibilita energetického systému

Proměnu energetiky lze dobře ukázat na roli flexibility spotřeby energie. Ta totiž v budoucnu může pomoci řešit potíže spojené se skladováním elektřiny.

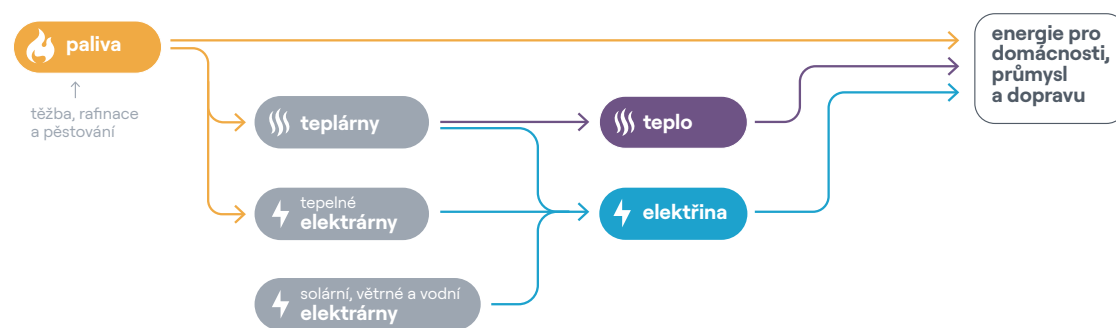
Výroba se dnes přizpůsobuje spotřebě

Výroba a dodávky energie se v současnosti řídí podle spotřeby a přizpůsobují se jejím **výkyvům**. Fosilní paliva lze mít na měsíce do zásoby a spalovat kdykoliv. To ilustrují dva následující příklady:

→ **Spotřeba energie v zimě** je kvůli vytápění budov výrazně vyšší než v létě. Nejvíce v případě zemního plynu – u něj bývá spotřeba v zimě až 3× vyšší než v létě. A tak se **dodávky plynu přizpůsobují spotřebě** (i díky plynovým zásobníkům, které se před zimou naplní a v průběhu zimy se z nich část plynu čerpá).

→ **Spotřeba elektřiny ve dne** bývá až 2× vyšší než v noci, kdy lidé spí a potřebují ji méně. Z velké části se tomu **přizpůsobuje výroba** (v období nízké spotřeby se výkon některých elektráren snižuje a část nadbytečného výkonu navíc akumulují přečerpávací vodní elektrárny). Jen z menší části se tomu přizpůsobuje spotřeba elektřiny (např. nízký tarif, který v období nízké spotřeby mírně zvedá spotřebu elektrokotlů, akumulčních kamen apod.).

VÝZNAMNÉ TOKY ENERGIE JSOU DNES V ČESKU PŘÍMOČARÉ, SKORO VŠE POCHÁZÍ Z PALIV



Spotřeba se může více přizpůsobovat výrobě

Výroba z obnovitelných zdrojů je hodně proměnlivá. Při vysokém podílu solární a větrné výroby tak vzniká nadbytek levné elektřiny, když hodně svítí nebo fouká, a naopak dochází k jejímu nedostatku a růstu ceny, když nesvítí a nefouká. Proto je ekonomické, aby se **spotřeba energie** více přizpůsobovala možnostem její **výroby**. Spotřebu lze chytře řídit, bez dopadů na kvalitu života. Konkrétně například takto:

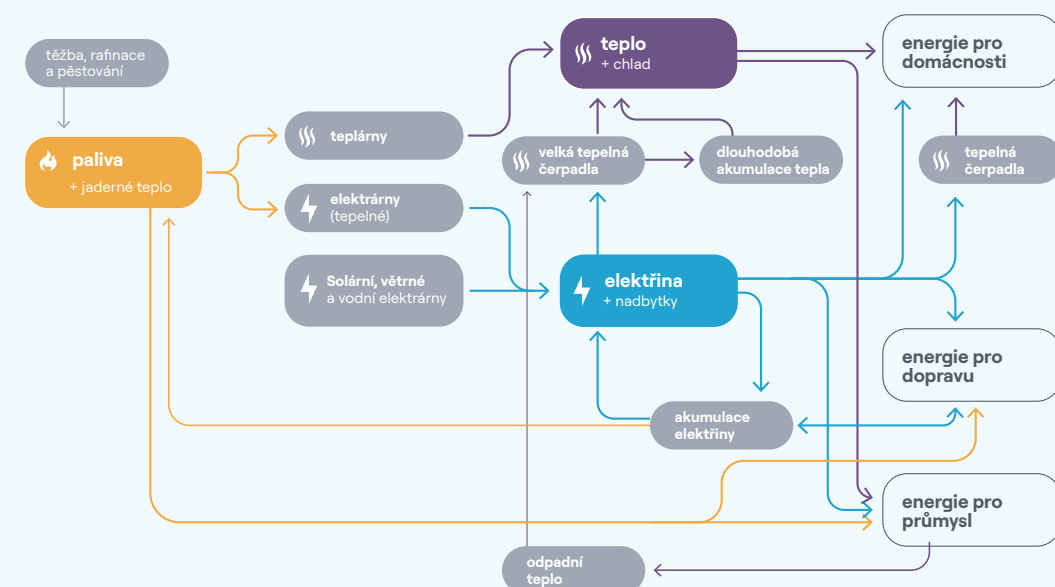
- **vytápění a klimatizaci budov** lze mírně posunout v čase podle možností výroby elektřiny,
- **teplárny** mohou akumulovat přebytky elektřiny na měsíce dopředu v obřích zásobnících ve formě horké vody,
- **elektroauta** připojená k síti lze z části dobíjet dle možností výroby nebo dokonce využít jako systémový akumulátor,
- některé **průmyslové procesy** lze posunout v čase dle možností výroby elektřiny (např. využití obloukové pece, mletí slínku v cementárně apod.).

Tuto **flexibilitu spotřeby** umožní elektrifikace, chytré řízení a tím pádem užší **propojení sektorů** (sector coupling) se sektorem **výroby elektřiny**. Tato vzájemná provázanost umožňuje „přelévát“ energii z částí, kde je jí dostatek do částí, kde je zrovna potřeba.

Je třeba dodat, že:

- Pro **spolehlivost systému budou stále nutná i paliva**, aby energie byla k dispozici, kdykoliv je potřeba. Jen jich v součtu bude stačit výrazně méně.
- **Zapojení do flexibility bude dobrovolné** (zákazník tím ušetří peníze).

BUDOUCÍ SYSTÉM MŮŽE BÝT VÝRAZNĚ PROPOJENĚJŠÍ, A TAK MŮŽE LÉPE V RŮZNÝCH FORMÁCH SKLADOVAT ENERGIÍ



Zdroj dat: vlastní zpracování (vycházející ze standardních konceptů v odborné literatuře)

Jak byl sestaven scénář možné budoucnosti používaný v této publikaci?

Jak byl scénář sestaven?

Toky energie uvedené ve scénáři vycházejí z rešerše odborných scénářů modelujících energetiku pro Česko¹⁵ a z analýz Fakt o klimatu, např. z modelování v sektoru elektroenergetiky. Protože jde především o to ukázat hlavní trendy, mnohé údaje jsou zaokrouhlené a zjednodušené. Některé údaje jsou oproti jiným scénářům mírně upravené na základě dosavadního vývoje v Česku i ve světě.¹⁶ Emise skleníkových plynů této možné budoucí energetiky jsou odhadnuty na základě toků energie a běžných emisních faktorů.

K čemu může sloužit?

Scénář není předpověď budoucnosti ani návodem k jejímu dosažení. Jeho cílem je na konkrétních číslech ukázat, jak by mohla vypadat možná a technologicky proveditelná varianta téměř úplné dekarbonizace Česka. Rozhodně tedy nedává definitivní odpověď, jak Česko dekarbonizovat – dá se na něj ale odkazovat při odborných i veřejných diskuzích zaměřených na přechod Česka k nízkoemisní ekonomice. Dekarbonizovat lze totiž mnoha cestami, jen jsou některé zbytečně drahé, jiné příliš riskantní nebo velmi pomalé. Zde používaný scénář je založen na poznání z roku 2025, představy o budoucnosti se ale mění a diskuze proto musí pokračovat dál.

Jak jej realizovat?

Scénář neobsahuje politická opatření,¹⁷ jež by vedla k jeho dosažení. Obecný přehled a kontext k možným opatřením nabízí kapitola *Ekonomický a společenský rozměr dekarbonizace (s. 207–222)*.

Co jsou hlavní předpoklady scénáře?

Aby byla zajištěna srozumitelnost a správná interpretace scénáře, je důležité explicitně představit jeho vnitřní logiku, hlavní zjednodušení a obecné předpoklady:

- **Scénář ukazuje možný budoucí stav téměř úplné dekarbonizace**, se snížením emisí skleníkových plynů až o 90 % oproti roku 2022 (podrobněji viz tabulka na *str. 35*).¹⁸
- V této kapitole se scénář zaměřuje na energetické toky v hospodářství, včetně zdrojů primární energie, transformace a nosičů konečné spotřeby. Opatření pro snižování emisí mimo energetický sektor zde nejsou detailně rozpracována.¹⁹
- **Scénář je spíše konzervativní – předpokládá udržení dnešní úrovně energetických služeb**, tedy stejného tepelného komfortu v budovách, srovnatelných přepravních výkonů v osobní i nákladní dopravě (bez výrazných změn v dopravních módech) a zhruba podobných energetických nároků budoucího průmyslu. Soustředí se tak na technologické cesty dekarbonizace (ne na zásadní změny životního stylu).
- **Scénář se opírá o dnes dostupné technologie**, které jsou již dnes ověřené funkčním pilotním provozem. U některých počítá s jejich dalším vývojem (vodík, zachytávání uhlíku a malé modulární reaktory), ovšem i bez tohoto vývoje je velká část představeného snížení emisí realizovatelná. Scénář naopak nezahrnuje spekulativní technologické průlomy, jako je např. jaderná fúze.
- **Scénář není ukotvený ke konkrétnímu roku**. V případě rychlého tempa dekarbonizace v Česku by energetické toky zobrazené v tomto scénáři mohly být dosažitelné už kolem roku 2045. Je ovšem možné, že proces dekarbonizace bude probíhat pomaleji nebo že Česko tak výrazné dekarbonizace vůbec nedosáhne.

Jaké jsou předpoklady scénáře ohledně konečné spotřeby energie?

V sektoru budov scénář díky jejich energetickým renovacím realisticky předpokládá snížení konečné spotřeby energie o cca 20 %. Díky renovacím zároveň nepředpokládá nijak dramatický nárůst spotřeby elektřiny na chlazení a počítá s tím, že významnou roli ve vytápění budov bude nadále mít centrální teplo.

V sektoru dopravy je scénář také spíše konzervativní – předpokládá mírně rostoucí poptávku po celkovém přepravním výkonu v osobní i nákladní dopravě a nikoli podstatnou změnu přepravních módů (např. náhradu části individuální automobilové dopravy hromadnou dopravou). Scénář pracuje s elektrifikací veškeré osobní a větší části nákladní dopravy, což by přineslo více než 50 % snížení konečné spotřeby energie v dopravě. V ostatních segmentech dopravy se podle scénáře nadále využívají různé formy paliv.²⁰

V sektoru průmyslu scénář předpokládá pokračující průmyslovou výrobu v Česku, s mírně klesajícími energetickými nároky.²¹ Nejzřetelněji se od současnosti odchyluje ve výhledu hutnictví, kde už nepočítá se zpracováním železné rudy v Česku (scénář totiž nepředpokládá dostatečně příznivé podmínky pro výrobu nízkoemisního vodíku či pro ukládání uhlíku v ČR). Scénář však v energetické bilanci počítá s dalšími prvky hutnictví (např. výroba oceli z železného šrotu a její další zpracování).

S vývojem jednotlivých sektorů (např. energeticky náročných průmyslových odvětví) jsou ovšem spojeny **významné nejistoty**, které popisuje další strana.

Jaké jsou předpoklady ohledně primární energie a její transformace?

V sektoru výroby elektřiny je klíčovým vstupem detailní modelování elektroenergetiky provedené Fakty o klimatu.²² Výsledná struktura zdrojů pro Česko, která z tohoto modelování vychází, se ukazuje jako robustní napříč různými předpoklady budoucího vývoje. V souladu s tímto modelováním tak:

- **Scénář počítá se zásadním rozvojem solárních a větrných elektráren**, který ale respektuje limity jejich územní stopy a potenciálu dalšího rozvoje. Zejména u větrné energetiky může výrazný rozvoj znatelně snížit celkové společenské náklady (skutečné možnosti jejího rozvoje nicméně tvoří podstatnou nejistotu budoucího vývoje – několik alternativních scénářů rozvoje elektroenergetiky ukazují *str. 88–89*).
- **Scénář předpokládá další rozvoj jaderné energetiky**. Je tak v souladu se strategiemi vlády, i když v rámci vládních plánů jde spíše o variantu menšího rozvoje jaderných zdrojů.²³

Scénář pro primární energii v ČR počítá s následujícím:

- **ropa a zemní plyn**: významný odklon energetického využití (ve scénáři ale zůstává neenergetické využití těchto surovin v chemickém průmyslu)
- **uhlí a koks**: úplný konec energetického využití v souladu s předpoklady ve vývoji hutnictví
- **biomasa a bioplyn** (včetně biometanu a biopaliv): mírný rozvoj využití, o méně než 15 % oproti dnešku
- **energie okolního prostředí**: významný rozvoj jejího využití pomocí tepelných čerpadel – jak ve výrobě centrálního tepla, tak v konečné spotřebě v rámci budov a průmyslu.

Jaké nejistoty jsou se scénářem možné budoucnosti spojeny?

Kde jsou hlavní nejistoty?

Nejvýznamnější nejistota: bude dostatečná politická a společenská vůle usilovat o tak výraznou dekarbonizaci? To úzce souvisí s dalším technologickým vývojem (o kolik bude výrazná dekarbonizace dražší oproti mírné dekarbonizaci, viz s. 214), se schopností státu nastavit dobře fungující dekarbonizační opatření, ale také s dalším vývojem ve světě (zda bude i zbytek světa emise snižovat dostatečně rychle).

Ve světě bude hodně záležet na mezinárodní spolupráci a celkové stabilitě a bezpečí. Tempo mohou zpomalit nebo úplně zastavit například výrazná cla, rozpad současných globálních dodavatelských řetězců, spory a napětí ohledně nerostných surovin nebo války.

V Česku bude záležet na celkovém stavu ekonomiky a veřejných financí, na daňovém systému a sociální politice. Důležitou roli v tom bude také hrát demografický vývoj, stabilizace penzijního systému a vývoj veřejného dluhu. Jde o to, zda bude mít společnost na výraznou dekarbonizaci dost peněz, a bude tak schopna jí věnovat dost pozornosti (zde záleží na stavu celé společnosti stejně jako na situaci jednotlivých socioekonomických vrstev).

Zde používaný scénář možné budoucnosti tyto nejistoty nezkoumá, pouze ukazuje technologické možnosti dekarbonizace (tedy co je možné provést při vhodných ekonomických a společenských okolnostech).

Jaký vliv může mít veřejnost?

Podstatnou roli může hrát **přijetí či nepřijetí jednotlivých změn veřejností**, např. instalace větrných turbín v české krajině, nákup elektroaut apod. To ovlivní, jakou cestou Česko v dekarbonizaci půjde a jak bude celkově úspěšná, ale projeví se to také na výsledné energetické bilanci (např. v primární energii může být méně energie větru a více jaderného tepla či více fosilního plynu).

Jaké jsou nejistoty okolo úspor energie?

Míra energetických úspor je nejistá z důvodu tzv. **Jevonsova paradoxu**. To je pozorovaný jev: vyšší energetická účinnost zařízení může vést k jeho většímu využití, a tedy paradoxně k vyšší celkové spotřebě energie. Úsporné technologie by proto měla doprovázet vhodná regulace cen energií.²⁴

Jak mohou spotřebu energie ovlivnit změny životního stylu?

Určitý vliv na scénář energetické bilance může mít také vývoj **společenských norem a preferencí** ve spotřebě:

- V **dopravě** může jít např. o zvyšování nájezdu aut nebo naopak posílení hromadné dopravy a aktivní či sdílené mobility (vyžadující veřejné dopravní investice i proměnu urbanismu k městu krátkých vzdáleností).
- V **budovách** bude zásadní roli hrát ochota k energetickým renovacím (které zásadně ovlivňují spotřebu energie na vytápění), ale i širší společenské trendy ovlivňující celkovou plochu budov (suburbanizace, zvyšování počtu domácností apod.).
- Ve **službách** může hrát roli např. rozvoj datových center a umělé inteligence (zvyšující spotřebu elektřiny) nebo online nákupů (s dopady na dopravu).

Česko se může v dalších letech posouvat směrem k emisně náročnějšímu životnímu stylu i směrem opačným. Zde používaný scénář s úspornějším životním stylem příliš nepočítá, i když by to dekarbonizaci usnadnilo.²⁵

Závisí scénář na dalším zlevňování zavedených technologií?

Nijak zásadně, protože už dnes jsou solární a větrné elektrárny nebo lithiové baterie velmi levné. Pokud bude pokračovat trend jejich výrazného zlevňování, mohou hrát ještě větší roli v energetickém mixu, než jakou ukazuje scénář (např. solární panely mohou být všude, bez ohledu na nadbytky a maření výroby v létě).

Naopak pokud se trend zlevňování zavedených nízkemisních technologií zbrzdí nebo zastaví, mohou hrát tyto obnovitelné zdroje a baterie o něco menší roli, než jakou ukazuje scénář (pak by např. elektromobilita nemusela dosáhnout tak vysokého podílu na dopravě nebo proměna elektroenergetiky by nebyla tak levná).

Cenu zavedených technologií bude ovlivňovat cena nerostných surovin potřebných pro jejich výrobu a instalaci (jako lithium, měď, zinek, nikl, molybden apod.). Celosvětově se předpokládá mnohonásobný nárůst spotřeby těchto surovin. Není však zřejmé, zda a s jakými dopady na životní prostředí a místní obyvatele se podaří úměrně navýšit i jejich těžbu.²⁶

Závisí scénář na rozvoji méně zralých nových technologií?

Výrazné snížení emisí v Česku (o 90 % oproti roku 2022) není technicky možné bez alespoň částečného úspěchu některé z méně zralých technologií, jako je zachytávání uhlíku nebo výroba a využívání nízkemisního vodíku (či jiného synteticky vyrobeného nízkemisního paliva).

Tyto technologie jsou ve fázi intenzivního vývoje, ale jejich další zlevňování a úspěšné překonání technických překážek není jisté. Jejich neúspěch by sice příliš neovlivnil tempo elektrifikace a velkou část proměny energetického mixu, mohl by ale omezit míru dekarbonizace dosažitelnou s rozumnými náklady (např. na snížení emisí jen o 75–85 % oproti roku 2022). Bylo by pak dispozici méně nástrojů na snižování emisí, které nelze eliminovat pomocí elektrifikace (kategorie opatření **D**, **E** a **F** z předchozí kapitoly).

Naopak úspěšný vývoj těchto i dalších technologií,²⁷ nalezení životaschopných byznys modelů a snížení nákladů, to vše může výraznou dekarbonizaci značně usnadnit.²⁸ Detailní posouzení potenciálu těchto nových technologií však přesahuje rámec této publikace.

Jak může scénář ovlivnit průmyslová politika?

Evropská i česká průmyslová politika může v praxi do velké míry ovlivnit budoucnost hutnictví, chemického průmyslu i dalších odvětví. Je možné, že se státní podporou či uvolněním emisní regulací budou tato strategicky důležitá odvětví nadále pokračovat v současném objemu výroby (s vyšší spotřebou energií nebo vyššími emisemi, než uvádí scénář).

S jakými ekonomickými nejistotami v jednotlivých sektorech scénář počítá?

Zde je několik příkladů výrazně ovlivňujících spotřebu energie:

Průmysl bude ovlivněn hlavně cenami nízkemisní energie (včetně vodíku) a dostupností infrastruktury pro zachytávání CO₂, v čemž Česko nemusí vynikat. V tomto sektoru má na budoucí spotřebu energie vliv:

- **hutnictví:** pokud se v Česku udrží výroba surového železa, ovlivní to výši a strukturu spotřeby energií (stejně jako to, zda půjde o klasické vysoké pece s vysokou spotřebou fosilní energie nebo o přímou redukci vodíkem v kombinaci s obloukovými pecemi)
- **chemický průmysl:** není zřejmé, které jeho části obstojí ve světové konkurenci a jak toto odvětví případně ovlivní průmyslová politika; dnes chemický průmysl spotřebovuje cca 12 TWh energie ročně (v různých formách)
- **výroba cementu, vápna, skla:** nejistoty se týkají hlavně použitých technologií a tedy jejich spotřeby energie (samotné odvětví nečelí takovému globálními tlaku a v nějaké míře tak nejspíš bude pokračovat).

Teplárenství je vystaveno konkurenci lokálního vytápění (a zároveň náročné regulaci). Některým soustavám centrálního tepla se úspěšná transformace nemusí podařit a mohou se v dalších letech rozpadnout. To by sice celkovou konečnou spotřebu energie příliš nezměnilo, ale zvýšil by se tím podíl lokální výroby tepla oproti teplu centrálnímu.²⁹

Spotřebu energie v nákladní dopravě by snížil přesun části přepravního výkonu na elektrifikovanou železnici. To by ale vyžadovalo velké investice do železniční infrastruktury a jasný ekonomický rámec (daní či poplatků), který by přepravce k využití železnice dostatečně motivoval. Bylo by to přínosné, scénář s tím však nepočítá.

Poznámky ke kapitole

- 1 V energetice se obvykle používají různé jednotky energie jako TWh (terawatthodiny), PJ (petajouly) nebo ktoe (tisíce tun ropného ekvivalentu). Pro zjednodušení pracuje tato publikace s jednotkou jedinou, a sice s terawatthodinou. Jde o množství energie, které by se spotřebovalo dodávkou výkonu 1 TW (terawatt) po dobu 1 hodiny.
- 2 Pro tak různé nosiče energie je podstatná otázka, jak se vlastně měří jejich energetický obsah. Pro každý nosič je to dle konvencí jinak.
① U hořlavých paliv (uhlí, plyn, ropa, biomasa) jde o jejich výhřevnost, tedy množství tepelné energie, která se uvolní při jejich spalení.
② U jaderného tepla je to podobné: jde o tepelnou energii, která se získá z primárního okruhu jaderné elektrárny, z níž se pak se ztrátami vyrábí elektřina.
③ U zdrojů obnovitelné elektřiny (solární, větrná, vodní) jde přímo o množství elektřiny, které tyto zdroje vyrobí.
④ U zdrojů obnovitelného tepla jde podobně o teplo, které fototermický panel či tepelné čerpadlo využije na vytápění budovy. U obnovitelných zdrojů elektřiny a tepla se tedy veškerá primární energie bez ztrát využívá jako elektřina nebo teplo, proto jsou tyto zdroje ve statistikách primární energie podreprezentované.
- 3 V případě tepla se ale do konečné spotřeby počítá i obnovitelné teplo z okolního prostředí (využitě tepelnými čerpadly v budovách) a teplo získané solárními kolektory. Obojí je zdarma a na žádné fakture se neobjevuje.
- 4 Díky zobrazování průměrů za 5 let nejsou zobrazené údaje tolik zatížené výkyvy posledních let (např. během pandemie covid-19 nebo globální energetické krize v letech 2021 a 2022). Do určité míry ale kvůli tomu data podceňují trendy posledních let, jako je rozvoj fotovoltaiiky nebo snižování výroby elektřiny z uhlí.
- 5 Pro zjednodušení grafy ukazují primární energii očištěnou o export. Pokud například část importovaného zemního plynu směřuje přes Česko na export do dalších zemí, ukazují grafy pouze tu část zemního plynu, která se v Česku skutečně spotřebuje. Kromě toho grafy pro zjednodušení slučují některé typy energetických nosičů jako biomasu a bioplyn, obnovitelné zdroje tepla (energie okolního prostředí a fototermiku), obnovitelné zdroje elektřiny (solární, větrné, vodní). V rámci fotovoltaiiky scénář možné budoucnosti počítá v primární energii jak s velkými fotovoltaiickými elektrárnami, tak se střešní fotovoltaiikou na budovách.
- 6 Graf přímo ukazuje jen transformaci při výrobě elektřiny a tepla, a vynechává tak řadu transformací v průmyslu. Tyto vynechané transformace jsou zachyceny pouze ve formě jejich energetických ztrát, zahrnutých v kategorii „Ztráty při transformaci a transportu“. Jde hlavně o koksárny a vysoké pece, kde se uhlí (s nemalými ztrátami energie) transformuje na koks a dále na koksárenský plyn. V rafineriích a při dalších transformacích (výroba briket z hnědého uhlí, zplyňování uhlí, výroba biopaliv) k podstatným ztrátám energie nedochází.
- 7 Energetické bilance do výroby elektřiny a tepla nezahrnují centrální teplo vyrobené v průmyslových teplárnách pro vlastní spotřebu daného průmyslového podniku (na rozdíl třeba od statistik výroby tepla od Energetického regulačního úřadu). Paliva potřebná na tuto výrobu, např. uhlí nebo zemní plyn, jsou místo toho zahrnuta v konečné spotřebě paliv v průmyslu.
- 8 Jde o nízkoe emisní vodík importovaný ze zahraničí. Podle uvažovaného scénáře možné budoucnosti by se vodík v malé míře (méně než 1 TWh/rok) vyráběl i v ČR. V grafu je to naznačeno drobným tokem z „Výroby elektřiny a tepla“ do „Paliv“.
- 9 Kategorie „Teplo“ zahrnuje kromě centrálního tepla (dodávaného z tepláren) také energii prostředí a fototermiku, využitou lokálně v rámci konečné spotřeby. Právě tyto dvě další formy tepla ve scénáři možné

budoucnosti výrazně narostou. Jde o teplo, které z okolního prostředí získají lokální tepelná čerpadla v budovách a průmyslu nebo které ze slunečního záření zužítávají fototermické panely na střeše.

- 10 Část fosilních paliv (hlavně ropy a zemního plynu) se dnes využívá tzv. neenergeticky – jako surovina na výrobu plastů, dehtu, asfaltu či vodíku. Možnosti jejich náhrady v chemickém průmyslu zatím nejsou zcela jasné, proto scénář možné budoucnosti ponechává neenergetickou spotřebu těchto paliv na stávající úrovni (cca 35 TWh ročně).
- 11 Konečná spotřeba energie uváděná v této publikaci zahrnuje v sektoru dopravy také spotřebu ropných paliv v mezinárodní letecké dopravě. Dle konvencí se tato spotřeba standardně udává zvlášť – mimo konečnou spotřebu. V ČR jde o 3 TWh/ročně, toto zjednodušení tedy ke konečné spotřebě v dopravě přidává necelá 4 % energie.
- 12 Energie v dopravě by mohlo stačit ještě výrazně méně (i při vysoké životní úrovni). Další úspory by totiž mohlo přinést vyšší využití hromadné dopravy, vyšší využití elektrifikované železniční dopravy, případně další proměny spotřebitelského chování.
- 13 Scénář počítá pro vysokoteplotní procesy v rámci konečné spotřeby energie v průmyslu s využitím zemního plynu (10 TWh), biomasy a biometanu (10 TWh) a vodíku (12 TWh). Kolem budoucího vývoje v průmyslu však zatím panuje hodně nejistot – je možné, že tato paliva budou ve skutečnosti využita ve výrazně jiném poměru.
- 14 Podle statistických konvencí se do konečné spotřeby zahrnuje i energie z okolního prostředí, kterou do budov zdarma přivádějí tepelná čerpadla. Kvůli této konvenci tak tepelná čerpadla ve statistikách úsporu konečné spotřeby energie nepřinášejí. Tato vyšší účinnost ale sníží náklady – stačí nakupovat méně elektřiny. Např. při účinnosti 400 % získá čerpadlo s každou spotřebovanou kWh elektřiny další 3 kWh tepla okolního prostředí a dohromady tak vyrobí 4 kWh tepla.
- 15 Autorský tým při sestavování scénáře vycházel primárně z modelování Centra pro otázky životního prostředí na Univerzitě Karlově provedeného pro strategický vládní energeticko-klimatický dokument z roku 2024. Využity však byly i další odborné scénáře.
→ [Ministerstvo průmyslu a obchodu. \(2024\). Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. \[Dostupné online\]](#)
→ [Greenpeace Česká republika a Hnutí DUHA. \(2021\). Energetická revoluce: Jak zajistit elektřinu, teplo a dopravu bez fosilních paliv. \[Dostupné online\]](#)
→ [McKinsey & Company. \(2020\). Klimaticky neutrální Česko: Cesty k dekarbonizaci ekonomiky. \[Dostupné online\]](#)
- 16 Oproti předchozím českým scénářům počítá scénář uváděný v této publikaci např. se znatelně nižším využitím vodíku (a neočekává využití vodíku v dopravě) nebo také počítá s mírně nižší dosaženou úrovní energetických renovací budov. Úpravy oproti starším scénářům jsou založené na světových trendech popsanych v renomovaných studiích:
→ [International Energy Agency. \(2024\). World Energy Outlook 2024. \[Dostupné online\]](#)
→ [BloombergNEF. \(2025\). New Energy Outlook 2025. \[Dostupné online\]](#)
- 17 Sestavení škály funkčních implementačních opatření, jež budou mít dostatečnou společenskou podporu, je velmi těžký úkol, který se státy po celém světě postupně učí. Popsání a vysvětlení těchto opatření navíc vyžaduje mnoho technických detailů a je nad rámec této přehledové publikace. Ta se snaží ukázat hlavně technologické možnosti téměř úplné dekarbonizace a kvantifikovat emisní a energetické úspory v jednotlivých sektorech.

- 18 Toto snížení emisí skleníkových plynů zhruba odpovídá snížení emisí o 94 % oproti referenčnímu roku 1990. Emise je možné snižovat ještě více, nicméně s dnešním poznáním zatím není jasné, které cesty se ukáží jako slepé nebo příliš nákladné a které naopak mohou vést k cíli. Snížení emisí o 94 % sice k dosažení klimatické neutrality nestačí, ale takový celosvětový výsledek by umožnil postup klimatické změny zásadně zpomalit a získat tak více času na hledání řešení, pomocí nichž bude nakonec možné eliminovat i zbývající emise.

- 19 Pro snížení emisí o 90 % oproti roku 2022 jsou ovšem potřeba i neenergetická opatření, jak ukazuje tabulka na *str. 34*.

- 20 Letecká a lodní doprava, zemědělská a lesní technika a část dálkové kamionové dopravy by v tomto scénáři využívaly kombinaci ropných produktů, biopaliv a bioplynu. K dalšímu snížení emisí v těchto oblastech by mohly vést pokroky ve výrobě a využití biopaliv, využití vodíku a paliv na jeho bázi (amoniak, metanol či syntetické pohonné hmoty) nebo ještě hlubší elektrifikace (např. díky dalším pokrokům v oblasti baterií).

- 21 Součástí průmyslu jsou stovky složitých procesů, proto je těžké sestavit úplný scénář vývoje v tomto sektoru. Autorský tým je si vědom výrazného zjednodušení, které je v této publikaci použito.

- 22 Jde o model propojené evropské elektroenergetiky v hodinovém rozlišení, který při různých meteorologických podmínkách dobře zachycuje proměnlivost výroby obnovitelných zdrojů (zejména solární a větrné elektřiny), proměnlivost spotřeby a rozdílné podmínky v jednotlivých evropských zemích. Účelem modelu je nalézt takovou kombinaci instalovaných kapacit zdrojů, která by dlouhodobě spolehlivě pokrývala poptávku při nejnižších celkových nákladech, a to s ohledem na různé možnosti dalšího vývoje cen paliv a technologií.

→ [Krčál, J., Kolouch Grabovský, M. a Přibyla, O. \(2024\). Cesty k čisté a levné elektřině v roce 2050. Fakta o klimatu. \[Dostupné online\]](#)

- 23 Vládní varianty většího rozvoje jaderných zdrojů (až k 50% podílu na výrobě elektřiny) by dle provedeného modelování elektroenergetiky vedly ke zbytečně vysokým nákladům a přinesly zbytečně vysoké investiční riziko.

- 24 Příklady většího využití úsporných zařízení: svícení úspornými žárovkami, vyšší nájezd elektroautem, vytápění na vyšší teplotu tepelným čerpadlem apod. Díky snížení provozních nákladů si totiž firmy i domácnosti mohou dovolit větší využití zařízení, příp. mohou objevit úplně nové způsoby jeho využití, které dříve nebyly ekonomicky výhodné (např. vynález elektrického osvětlení umožnil osvětlování fasád budov nebo reklamních panelů, což bylo dříve nemyslitelné). Zčásti je to nejspíš nevyhnutelný jev – nadbytky velmi levné obnovitelné elektřiny nutně povedou k novým formám jejího využití. Přesto by neměla proměna energetiky spoléhat jen na nové technologie přinášející účinné využití nízkoe emisní elektřiny – pomoci může také vhodná doprovodná regulace. Jde např. o rostoucí zpoplatnění emisí, které při růstu nízkoe emisních zdrojů energie zajistí postupný útlum fosilních paliv. Představený scénář budoucí úspory energií není bez podobných regulací realizovatelný.

- 25 Scénář společenské transformace popisuje v češtině např. studie Asociace pro mezinárodní otázky. Možný dopad změn spotřebních vzorců podrobně zkoumá i poslední souhrnná zpráva panelu IPPC.

→ [Jungwirth Březovský, T. \(2023\). Scénář společenské transformace pro udržení globálního oteplení pod 1,5 °C: představení, reflexe, kritika. Asociace pro mezinárodní otázky. \[Dostupné online\]](#)

→ [Intergovernmental Panel on Climate Change. \(2022\). Summary for Policymakers. In Climate Change 2022 – Mitigation of Climate](#)

[Change: Working Group III Contribution to AR6. \[Dostupné online\]](#)

- 26 Současný výhled v odvětví těžby vzácných nerostných surovin poskytuje zpráva od Mezinárodní energetické agentury. Evropskou strategii v oblasti diverzifikace zdrojů těchto surovin zavádí Critical Raw Materials Act.

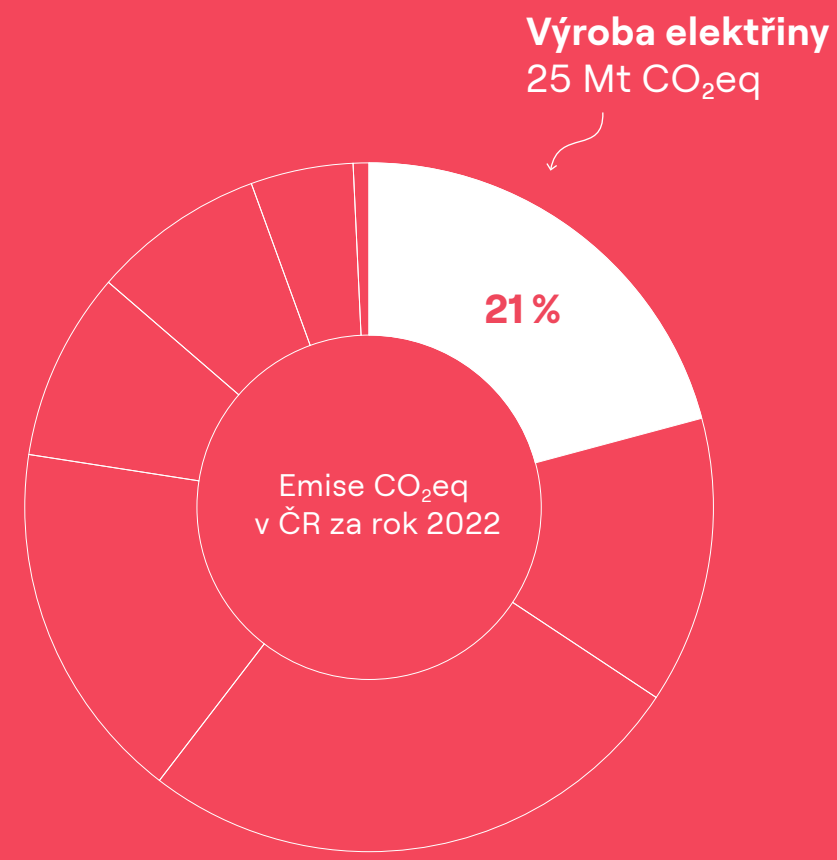
→ [International Energy Agency. \(2025\). Global Critical Minerals Outlook 2025. \[Dostupné online\]](#)

→ [European Commission. \(2025\). Critical Raw Materials Act. \[Dostupné online\]](#)

- 27 Například malé modulární reaktory nebo technologie pro dlouhodobější akumulaci elektřiny.

- 28 Například průlom technologie CCS by mohl umožnit pokračující částečné využívání fosilních paliv s kompenzací emisí, a tím dekarbonizaci zjednodušit a zlevnit.

- 29 Rozpad některých soustav centrálního tepla by také mohl zkomplikoval dekarbonizaci části budov zasažených tímto rozpadem. Např. pro památkově chráněné městské budovy s nízkým energetickým standardem nemusí být lokální elektrifikace vytápění tak výhodná.



Výroba elektřiny

Dekarbonizace výroby elektřiny v ČR

Tato kapitola se zaměřuje na problematiku výroby dostatku nízkemisní elektřiny pro elektrifikovaný svět. Nízkoemisní elektřina může hrát v celé dekarbonizaci ústřední roli a současně v sektoru výroby elektřiny je dnes nejvíce emisí. Proto následující série kapitol, zaměřujících se na jednotlivé sektory, začíná právě výrobou elektřiny.

PROBLÉM

Vysoké emise při výrobě elektřiny

Výroba elektřiny je v Česku zdrojem asi 21 % veškerých emisí skleníkových plynů. Tyto emise vznikají hlavně při spalování uhlí. Je přitom možné je současnými technologiemi snížit o 95 %, i více.

Spalování uhlí kromě toho způsobuje další znečištění vzduchu s dopady na zdraví populace.

Tato kapitola se zaměřuje na výrobu elektřiny, související výrobu centrálního tepla řeší *Výroba centrálního tepla* (s. 109–123).

Velké snížení emisí je možné

Už dnes mnohé státy EU dosahují při výrobě elektřiny mnohem nižší emisní intenzity (tedy nižších emisí na vyrobenou kWh elektřiny) než Česko:¹

- výrazně nižší emisní intenzitu má už dnes řada států (např. Francie, Rakousko, Španělsko, Portugalsko, Švédsko, Finsko i Dánsko mají méně než čtvrtinovou intenzitu oproti ČR)
- zhruba srovnatelnou intenzitu má např. Německo, Estonsko nebo Irsko
- vyšší intenzitu má v EU jen Polsko.

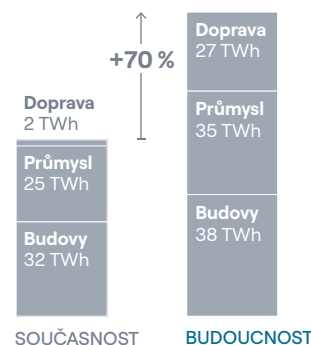
Současné elektrárny nestačí pro dekarbonizovaný svět

Pro dekarbonizaci celé energetiky bude zřejmě potřeba mnohem více elektřiny než vyrábíme dnes, další nízkoemisní elektřina nahradí velkou část fosilních paliv v dopravě, budovách a průmyslu.

Celková konečná spotřeba elektřiny může vzrůst z dnešních 58 TWh ročně podle různých odhadů až zhruba k 100 TWh ročně – **to je nárůst o 70 %**.

Nejde jen o růst spotřeby. Další aspekty, které ovlivňují dekarbonizaci výroby elektřiny, shrnují s. 70–71.

70 % – očekávaný nárůst konečné spotřeby elektřiny pro téměř dekarbonizovanou energetiku (dle scénáře možné budoucnosti, viz s. 48). Je spojen s elektrifikací v sektoru budov, průmyslu, ale hlavně v dopravě.



ŘEŠENÍ

Silné pilíře nízkoemisní výroby

Ve větším detailu rozebírají s. 72–80.



Podstatnou část výroby elektřiny v téměř dekarbonizované budoucnosti by v každém případě musely poskytnout dostatečně levné nízkoemisní pilíře výroby. Takové technologie jsou už dnes k dispozici.

V českých podmínkách to může být hlavně:

- větrná energetika
- solární energetika
- jaderná energetika

Zbytek může poskytnout import elektřiny ze zahraničí, tepelný a záložní elektrárny (na biomasu a nízkoemisní plyny, případně zemní plyn). Další strany tento scénář možné budoucnosti popisují blíže.

Zdroj dat: vlastní zpracování (scénář možné budoucnosti)

Technologie a opatření pro spolehlivé fungování s proměnlivými zdroji

Detailněji rozebírají s. 82–94

I s vysokým podílem proměnlivých solárních a větrných zdrojů je možné zajistit spolehlivé fungování soustavy. Pomůže k tomu pestrá škála opatření a technologií.

Využít přebytky výroby z OZE

Obzvláště solární výroba je hodně koncentrovaná (v poledních hodinách od jara do podzimu). Je potřeba:

- posilovat akumulaci energie (baterie, vodík, akumulace tepla v teplárenství)
- posilovat flexibilitu spotřeby, aby šlo nadbytky elektřiny užitečně spotřebovat v danou chvíli (chytré nabíjení elektroaut, výroba tepla a chladu v teplárenství, chytré vytápění a chlazení budov).

Zajistit vždy dostatek elektřiny

Soustava musí fungovat za každého počasí a zajistit vždy dostatek elektřiny. K tomu pomůže:

- zmíněná akumulace a flexibilita spotřeby
- propojení evropských soustav (využití přebytků OZE napříč kontinentem)
- záložní zdroje elektřiny (na zelené plyny, příp. zemní plyn), které dokáží vyrábět dle potřeby.

Při dobrém nastavení celého systému stačí ze záložních zdrojů pokrýt jen asi 5–10 % roční spotřeby.

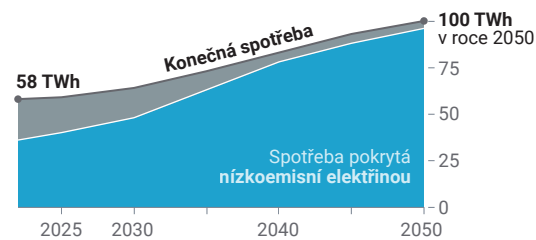
Co při dekarbonizaci výroby elektřiny hraje roli?

Při dekarbonizaci výroby elektřiny je třeba hledat řešení, které vyhovuje řadě rozdílných kritérií, od strategických po ryze technická.

ELEKTRIFIKACE

Elektřiny bude Česko potřebovat mnohem víc

Nestačí dekarbonizovat dnešní výrobu, elektřiny bude potřeba zhruba o 70 % víc.



Zdroj dat: vlastní zpracování

Scénář možné budoucí spotřeby elektřiny rozebírá kapitola Přehled energetiky.² Spotřebu elektřiny může nejvíc zvýšit elektrifikace dopravy a vytápění budov. Potřebný nárůst nízkoemisní elektřiny pro Česko je výrazně vyšší, cca o 150 % (dnes se nízkoemisně vyrobí jen asi 60 % spotřebované elektřiny).

DOSTUPNOST

Je důležité udržet přijatelnou cenu nízkoemisní elektřiny

Na dostupné energii stojí prosperita země a současná vysoká životní úroveň.

Nízkoemisní elektřina bude nejspíš o něco dražší než ta z uhlí. To není nutně špatná zpráva, příliš levná energie by vedla k plýtvání, což by šlo proti úsporám energie. Je ale důležité, aby nárůst cen energií byl jen malý.

Pokud se ovšem započítá i jen část vedlejších nákladů fosilní energetiky jako dopady na zdraví či klima, vyjde nízkoemisní elektřina vždy výhodněji.

KLIMATICKÁ BEZPEČNOST

Výrobu elektřiny je důležité dekarbonizovat rychle

Z hlediska klimatu by velmi pomohlo výrazné snížení emisí už do roku 2035.

Nelze tak jen čekat na dokončení nových jaderných bloků nebo dokonce na nové technologie jako malé modulární reaktory nebo zachytávání uhlíku.

Výroba nízkoemisní elektřiny spěchá, protože jde o pákový bod pro další oblasti dekarbonizace. Pro výrazné snížení všech emisí do roku 2050 potřebuje Česko téměř dekarbonizovat výrobu elektřiny už do let 2035–2040. Většina technologií už je dnes k dispozici.

ENERGETICKÁ SUVERENITA

Je důležité zajistit dostatek bezpečných zdrojů elektřiny

Je důležité udržet nízkou závislost na dovozu elektřiny i paliv a mít spolehlivé partnery.

Dekarbonizace může vést ke spolehlivé domácí výrobě elektřiny a ke snížení importu fosilních paliv. Pro Česko může být výhodné část elektřiny dovézt z EU, z bezpečnostního pohledu je ale třeba zajistit dostatek elektráren na českém území. Je také potřeba sledovat bezpečnost dovozu klíčových technologií (např. solárních panelů), jaderného paliva apod.

SPOLEHLIVOST DODÁVEK

Síť je třeba neustále držet v rovnováze

Vyráběnou elektřinu je třeba vždy rovnou odebrat ze sítě a naopak.

Z fyzikálních důvodů musí v každou chvíli platit:

VÝROBA = SPOTŘEBA (včetně ztrát v síti)

Jinak dojde k většímu namáhání elektrizační soustavy nebo až k tzv. blackoutu. Vyvažování sítě není přímočaré:

- **Spotřeba** je proměnlivá (během dne i roku)
- **Solární a větrná výroba** je proměnlivá (viz s. 82–94).

Rovnováha se dá dosahovat na straně spotřeby (akumulovat přebytky elektřiny nebo posunout část flexibilní spotřeby v čase) nebo na straně výroby (z akumulované energie nebo pomocí záložních zdrojů).

S vyvažováním může dále pomoci:

- **dobrý mix solární a větrné výroby** (s přirozeně nižší proměnlivostí)
- **celoevropská propojená síť** (viz vpravo)
- **teplárenství** (viz vpravo).

PROPOJENÉ SÍŤ

Elektřinu lze přenášet na velkou vzdálenost

Výrobu nízkoemisní elektřiny se vyplatí více řešit jako propojený celoevropský problém.

V propojené síti se elektřina nejvíc vyrábí tam, kde je to zrovna nejvýhodnější, např. u moře, když fouká. Přenos elektřiny na velké vzdálenosti je efektivní, v Česku se tak v přenosové síti ztratí jen asi 1 % elektřiny.

Celoevropský pohled vyžaduje koordinaci a silnější síť. Náklady na posilování přenosových sítí se Evropě vyplatí.³

TEPLÁRENSTVÍ

Kromě elektřiny je potřeba vyrábět i centrální teplo

Teplárenství může hrát důležitou roli ve vyvažování sítě.

Při nadbytku výroby z OZE je možné část elektřiny zužítkovat na výrobu tepla (které je také snadno možné akumulovat na později). Při nedostatečné výrobě z OZE naopak pomáhají klasické teplárny, které vyrábí elektřinu i teplo zároveň. Teplárenství a jeho napojení na výrobu elektřiny blíže řeší *Výroba centrálního tepla* (s. 109–123)

Jak by mohla vypadat výroba elektřiny v Česku?

Podle scénáře téměř dekarbonizované budoucnosti používaného v této publikaci je technologicky možné zajistit dostatek elektřiny a zároveň významně snížit emise z její výroby. Převážnou část současné výroby z fosilních paliv by Česko mohlo postupně nahradit elektřinou ze slunce a větru, část elektřiny by mohly vyrobit také nové jaderné bloky.

Obnovitelné zdroje energie

■ **Vítr** ■ **Slunce** ■ **Hydro**

■ **Jádro**

■ **Import**

Flexibilní zdroje

■ **Uhlí** ■ **Zemní plyn**

■ **Biomasa**

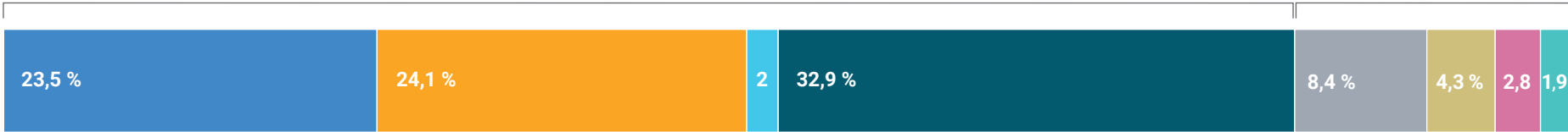
■ **Biometan a vodík**

MOŽNÁ BUDOUCNOST, VÝROBA ELEKTŘINY

Hlavní nízkoe emisní pilíře

Polovina výroby z OZE a třetina z jádra

Těmto zdrojům se podrobně věnují následující s. 74–80.



Vítr

28 TWh/rok; 10 GW

Vítr má v českých podmínkách podstatný potenciál a může dodat až čtvrtinu české elektřiny. Dnes se zde téměř nevyužívá.

Slunce

29 TWh/rok; 26 GW

Slunce může také dodat zhruba čtvrtinu české elektřiny. Potřebuje však doplnit krátkodobou akumulací, protože jeho výroba je silně koncentrovaná v čase.

Jádro

39 TWh/rok; 5,4 GW

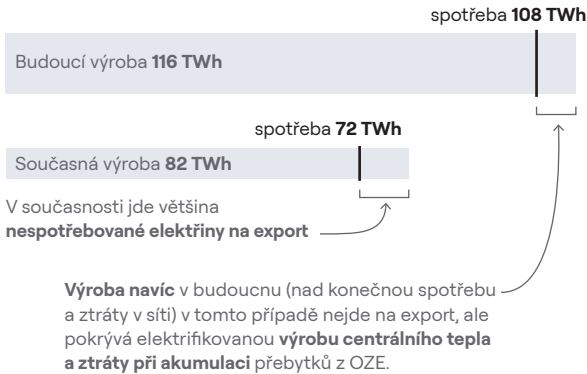
Jaderná energetika dnes dodává většinu nízkoe emisní elektřiny. Stát plánuje nahradit stárnoucí bloky v Dukovanech i stavět nové malé modulární reaktory, takže jaderná výroba nejspíš mírně vzroste.

SOUČASNOST, VÝROBA ELEKTŘINY (PRŮMĚR 2018–2022)



Dnes je převážná většina výroby z **fosilních paliv**.

VÝROBA VS. SPOTŘEBA DNES A V MOŽNÉ BUDOUCNOSTI



Sektor výroby elektřiny se může vyvíjet různě – tyto různé možnosti tvoří „alternativní scénáře“. Poměr tří hlavních zdrojů se v těchto scénářích může lišit, ve všech jsou však zastoupeny významně (v součtu tvoří 70–80 % výroby). Více na s. 88–89.

Další zdroje potřebné pro vyvažování sítě

Z dalších zdrojů méně než 20 %

Více o vyvažování sítě je na s. 82–92.

Import

10 TWh/rok i více (záleží na dalším vývoji v EU a propojení sítí)

V propojené Evropě by bylo snazší vyrovnávat výkyvy výroby ze slunce a větru. Import větrné výroby ze zahraničí navíc může doplnit větrnou výrobu v Česku.

Záložní zdroje

11 TWh/rok; 10 GW

Proměnlivou výrobu z větru a slunce mohou doplňovat záložní zdroje schopné vyrábět podle potřeby – z malého množství fosilního plynu a různých nízkoe emisních paliv.

Akumulace

5 TWh/rok (z 8 TWh pro nabíjení); 6 GW baterií; 1,2 GW přečerp. el.

Další vyrovňávání soustavy poskytují různé druhy akumulačních zdrojů jako baterie, přečerpávací elektrárny a elektrolyzéry (vyrábějící nízkoe emisní vodík).

Zdroj dat: ERÚ, Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR pro rok 2022 (současnost, průměr za roky 2018–2022) a vlastní zpracování (scénář možné budoucnosti).⁴

Větrné elektrárny

Větrná energetika je v současnosti jednoznačně největším zdrojem obnovitelné elektřiny v EU. Za posledních 30 let zde došlo k významnému technologickému vývoji i snížení nákladů. Také v Česku má energie z větru značný potenciál, hlavním limitem rozvoje je společenské přijetí a snaha o ochranu současného krajinného rázu.

Větrná elektrárna

VÝKON
3 MW až 5 MW
VÝROBA
8–13 GWh

Lopatky rotoru

Delší lopatky mají větší výkon.
Životnost lopatek je 20–30 let.

typická délka 50 až 90 m

Gondola

Obsahuje generátor, který je přes převodovku poháněný rotorem a řídicí systém, který zajišťuje ideální nastavení vzhledem ke směru a síle větru. Životnost je 20–30 let.

Typická výška věže je 160 m,
vyrobena z oceli a betonu.
Životnost mnoho desítek let.

Jak vypadá větrná turbína?

Moderní větrná turbína je opravdu velká konstrukce. Výkon turbíny přitom závisí na síle větru a výrazně roste s velikostí rotoru – zatímco turbína s patnáctimetrovými lopatkami má výkon okolo 300 kW, s padesátimetrovými už je to zhruba 3 000 kW a s osmdesátimetrovými přibližně 6 000 kW. Technologický vývoj posledních desetiletí spočíval právě ve schopnosti stavět větší a vyšší turbíny.

POTENCIÁL V ČR

☆☆○

20–30 TWh/rok⁵

Technický potenciál až 70 TWh ročně. Je ale omezen mírou přijetí větrných elektráren veřejností.

ŽIVOTNOST

☆☆○

20–30 let

Po skončení životnosti se často dělá repowering (výměna turbíny, lopatek, nebo i stožáru).

CENA ELEKTŘINY

☆☆○

70–100 €/MWh⁶

Dosažitelná cena pro moderní turbíny v ČR (pokud se usnadní povolovací procesy).

CELKOVÉ EMISE

☆☆☆

10–25 kg CO₂eq/MWh⁷

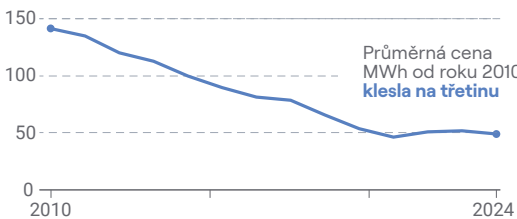
Velmi nízké emise celého životního cyklu, asi 40–100× nižší než u uhlí. Emise pochází hlavně z výroby materiálů (oceli, betonu).

CENA

Větrné elektrárny podstatně zlevnily

To vychází z výrazného nárůstu výroby (viz str. 218–219) a řady technologických inovací.

Náklady na výrobu (€/MWh)



Zdroj dat: IRENA, Renewable Power Generation Costs 2023 (jde o průměrné náklady v Německu, zlevnění je stejně platné i pro ČR)

POTENCIÁL V ČR

Potenciál v ČR je významný, ale omezený

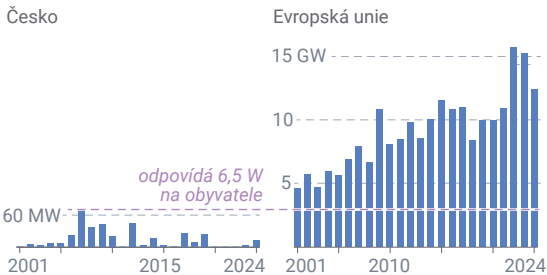
V Česku je dostatek větrných lokalit na to, aby se větrné turbíny mohly stát významným zdrojem elektřiny. Odborné studie ukazují, že technický potenciál větrné výroby v ČR je až 70 TWh ročně (při zohlednění větrnosti a při vyloučení chráněných území a oblastí blízko sídel). V praxi je limitem rozvoje větrné energetiky především přijetí místními obyvateli a snaha o zachování krajinného rázu. Realizovatelný potenciál tedy bude znatelně nižší: podle hrubých odhadů 20–30 TWh ročně. Tomu by (při použití dnešních technologií) odpovídalo cca 2 000–2 500 turbín.

hlavní limit rozvoje větrné energie

NOVÉ INSTALACE

V EU rostou, v Česku téměř nejsou

Nově postavené elektrárny za rok v Česku a Evropské unii. V EU tempo rozvoje setrvale roste, v Česku se větrné elektrárny téměř nestaví.



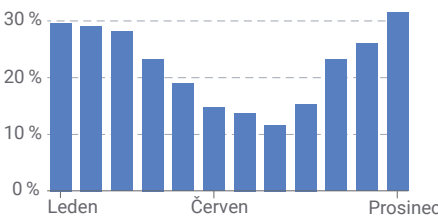
Zdroj dat: IRENA, Renewable Capacity Statistics 2025

SEZÓNNNÍ PROFIL

Vítr dobře doplňuje solární výrobu

Větrné elektrárny během letní poloviny roku vyrábějí méně než v zimě, při vyšších teplotách je totiž v průměru nižší rychlost větru. To ale znamená, že větrná energetika skvěle doplňuje solární energetiku, která má sezónní profil opačný.

Koeficient využití



Zdroj dat: ENTSO-E, Transparency Platform (ČR, průměr za roky 2015–2020)

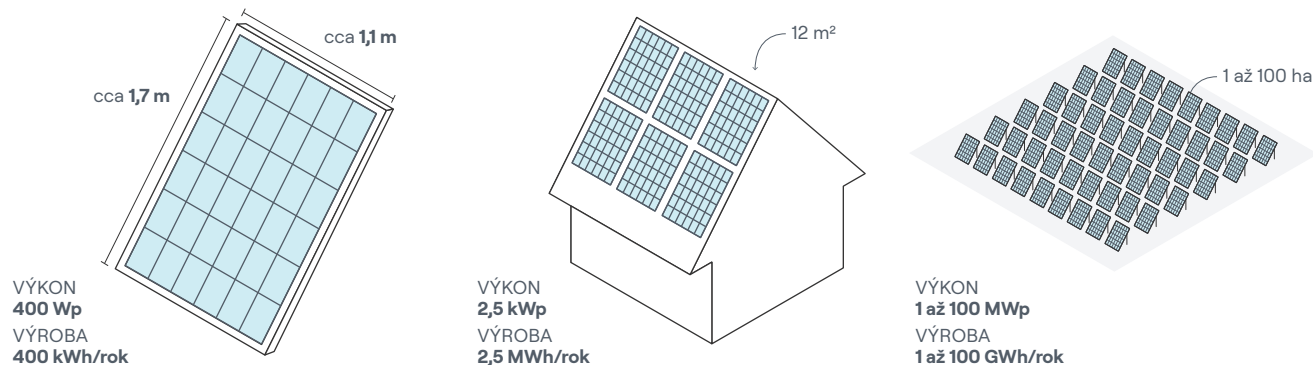
DALŠÍ NEVÝHODY

- Má dopad na **krajinný ráz** a tedy naráží na společenské a psychologické bariéry.
- Působí mírný hluk, v malé míře zabíjí ptáky (obojí se řeší při povolovacích procesech).
- Dnešní lopatky se **velmi málo recyklují** (metody recyklace existují, ale vyžadují další výzkum a zavedení do praxe) – bez recyklace by velké využití větru dle scénáře této kapitoly zvedlo každoroční objem odpadu v ČR jen o 0,01 %.⁸

Solární elektrárny

Solární energetika zažívá v posledních letech celosvětově dynamický růst díky výraznému zlevnění technologie, rychlosti instalace a širokému použití. Hlavním limitem rozvoje je profil výroby solárních elektráren – málo vyrábějí v zimě a vůbec nevyrábí v noci.

Jak vypadá solární panel?



Fotovoltaické články přímo přeměňují energii slunečního záření na elektřinu. Tím se zásadně liší od dalších typů elektráren, které vyrábí elektřinu roztáčením generátoru (v parní, plynové, vodní nebo větrné turbíně).

Kromě nejrozšířenějších křemíkových panelů existuje i řada dalších technologií.⁹

Instalují se na střechy obytných domů nebo hal. To je dobrý příklad dvojího využití plochy, který dostává energetiku blíž lidem. V přepočtu na instalovaný výkon jsou cca **2–3× dražší** než velké solární parky.

Další využití pro menší plochy:
→ zabudované panely (např. střechy elektroaut)
→ stavební materiál (např. jako střešní krytina, plot, fasáda atd.).

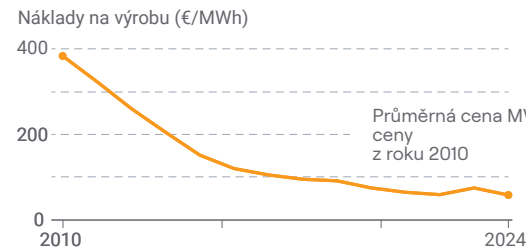
Instalují se do solárních parků. Vznikají na málo úrodné půdě, na brownfieldech, podél dálnic a větších silnic apod. I velký solární park lze postavit rychle, v řádu **několika měsíců**.

Další využití pro velké plochy:
→ agrovoltaika: dvojí využití plochy – vyšší konstrukce panelů, či ploty a k tomu pěstování plodin, které ocení mírné zastínění
→ plovoucí elektrárny (na přehradní nádrže)

CENA

Panely za posledních 15 let velmi výrazně zlevnily

Nárůst výroby a technologické inovace přinesly v posledních 15 letech zlevnění o cca 85 %.

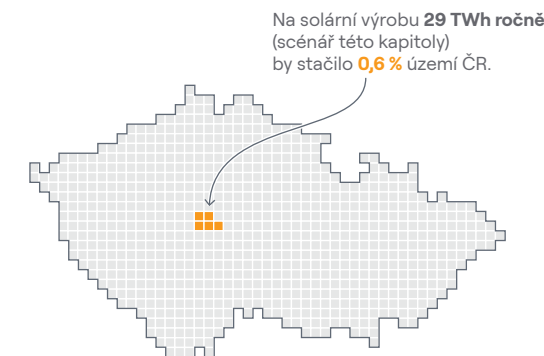


Zdroj dat: IRENA, Renewable Power Generation Costs 2023 (jde o průměrné náklady v Německu, zlevnění je stejně platné i pro ČR)

POTENCIÁL V ČR

Z hlediska území je potenciál panelů prakticky neomezený

Solární panely se dají instalovat chytře – s dvojitým využitím plochy, na střechy a fasády apod. Nicméně i kdyby se v ČR stavěly pouze solární parky (hlavně na málo úrodné půdě), stačil by malý zlomek území.

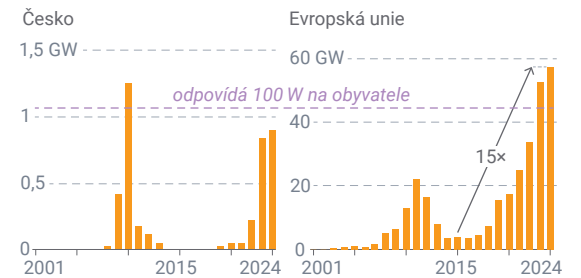


Zdroj dat: vlastní zpracování

NOVÉ INSTALACE

V EU se od roku 2015 zvýšilo tempo instalací 15×

Nově postavené elektrárny za rok – srovnání Česka a Evropské unie. Instalace v Česku v posledních letech zhruba odpovídají průměrnému evropskému tempu.

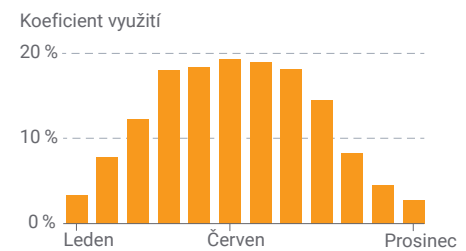


Zdroj dat: IRENA, Renewable capacity statistics 2025

SEZÓNNNÍ PROFIL

V ČR vyrábí solární panely málo v zimě

Solární elektrárny dobře vyrábějí v letní polovině roku. V zimní části roku je v Česku krátký den a slunce je nízko na obloze, výroba je tedy nízká. Tento sezónní a denní profil výroby limituje využití fotovoltaiky v Česku na cca 20–35 TWh ročně. Více solárních elektráren by v letních poledních hodinách vedlo k velkým přebytkům.



Zdroj dat: ENTSO-E Transparency Platform (ČR, průměr za roky 2015–2020)

POTENCIÁL V ČR

☆☆○

25–45 TWh/rok¹⁰

Z hlediska území by se vešlo výrazně více, limity jsou ovšem v integraci do sítě a ekonomickém využití výroby, která je koncentrovaná v čase.

ŽIVOTNOST

☆☆○

20–30 let

V průběhu let mírně degradují, tedy vyrábějí méně (po 20 letech cca o 10 %).

CENA ELEKTŘINY

☆☆☆

50–70 €/MWh¹¹

Uvedená cena pro velké instalace v ČR (pro malé střešní instalace je to cca 2× tolik).

CELKOVÉ EMISE

☆☆○

40–60 kg CO₂eq/MWh¹²

Emise jsou i při využití v ČR velmi nízké, asi 20× nižší než u uhlí. Největší část emisí celého životního cyklu je při výrobě panelů.

DALŠÍ VÝHODY

- Křemíkové panely jsou téměř bez vzácných kovů a toxických látek.
- **Až 90 % panelů lze recyklovat** (zatím se to příliš nedělá, protože vyřazených panelů je málo, metody recyklace vyžadují další výzkum a nasazení do praxe) – i bez recyklace by jejich velké využití dle scénáře této kapitoly zvedlo každoroční objem odpadu v ČR jen asi o 0,2 %.¹³

DALŠÍ NEVÝHODY

- Většina světové výroby solárních panelů je koncentrována v jedné zemi: v Číně.

Jaderné elektrárny

Jaderná energetika je největším zdrojem nízkoemisní elektřiny v Evropské unii, ale její podíl na výrobě v posledních dekádách mírně klesá. Hlavní limit dalšího rozvoje představuje vysoká cena a dlouhá doba výstavby.

Jak vypadá jaderná elektrárna?

Jaderná elektrárna je, podobně jako třeba uhelná, elektrárnou parní – elektřinu vyrábí horká pára roztáčením turbíny a generátoru.

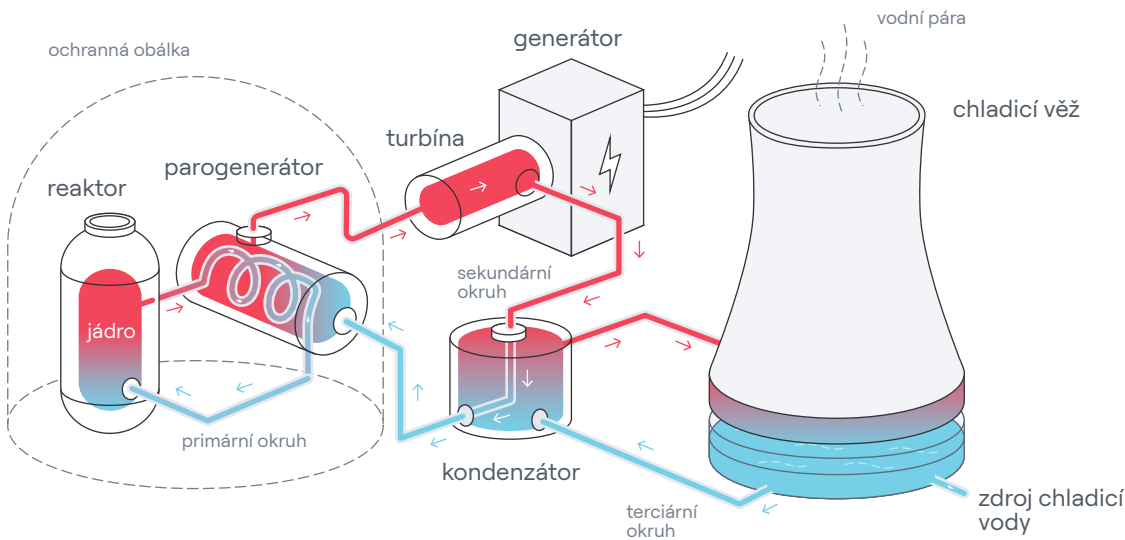
Liší se ale způsobem výroby páry – štěpení uranu zahřívá stlačenou (radioaktivní) vodu v primárním okruhu až k 330 °C. Ta přes výměník generuje páru v sekundárním okruhu. Terciární okruh slouží jen ke chlazení.

Stavba jaderného bloku je projekt na **desítky let** (mnoho let se chystá, pak se nejméně 7–10 let staví). Z toho důvodu tento typ elektrárny příliš neodpovídá rychlosti, s níž je potřeba dekarbonizovat výrobu elektřiny.

Malé modulární reaktory (SMR)

Jde o novou generaci jaderných zařízení ve vývoji (výkon do cca 300 MW). Měly by mít nižší náklady, snadnější financování, rychlejší výstavbu díky tovární výrobě a modulárnímu designu a také vyšší bezpečnost, než jaká je u konvenčních jaderných elektráren.

Technologie ale zatím není zralá, většina projektů je ve fázi vývoje nebo prototypů a slibované úspory nákladů tedy zatím nejsou potvrzeny v praxi. Další výzvou pro rozšíření této nové technologie mohou být schvalovací procesy a chybějící rámec regulací.



CENA

Stavět jádro v Evropě se nedaří levně ani včas

Po roce 2000 se v Evropě objevilo jen několik nových projektů. Všechny se značně zpozdily a překročily původní rozpočet.

PROJEKT	POČÁTEK VÝSTAVBY	PLÁN DOKONČENÍ A ROZPOČTU	REALITA ¹⁹ (přip. dnešní odhady)
Finsko Olkiluoto 3	2005	2009 3 mld. €	2023 11 mld. €
Francie Flamanville 3	2005	2012 3,3 mld. €	2024 13,2 mld. €
Británie Hinkley Point C	2017	2025 18 mld. £	2031 34 mld. £

POTENCIÁL V ČR

Stavět lze v obou současných lokalitách

Výrobu jaderné elektřiny v Česku je v dalších desetiletích teoreticky možné až zdvojnásobit. Rozvoj bude ale nutně pomalý. V roce 2025 byla podepsána smlouva na výstavbu 2 GW v Dukovanech – první nový reaktor by mohl v ČR stát nejdříve v roce 2036.

	DNES	ŽIVOTNOST	POTENCIÁL
Dukovany JEDU	2 GW	do 2046 (60 let) možná až do 2056 či déle	+ 2 GW 2 GW navíc při provozu stávajících bloků by vyžadovaly dražší technologii chlazení (s nižší spotřebou vody, která je zde omezená)
Temelín JETE	2 GW	do 2062 (60 let) možná až do 2082	+ 2 GW (+ SMRs) možné přidat 2 bloky v souběhu se stávajícími (přip. i další SMR bloky)

Je ovšem možné, že se budoucím plánovaným projektům podaří rozpočet i harmonogram dodržet lépe.

NOVÉ INSTALACE

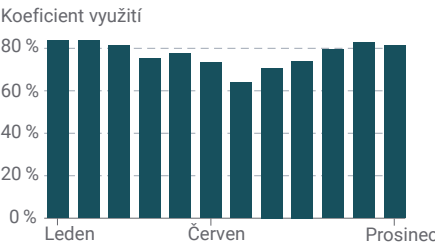
Po roce 1990 nastal útlum ve světě i v EU

Hlavní vlna výstavby jaderných elektráren nastala po velkých šócích na trhu s ropou v 70. letech. V 80. letech se na území dnešní EU dokončovalo v průměru téměř 10 GW jaderného výkonu ročně. Nicméně po jaderné havárii v Černobylu a liberalizaci velkých trhů s elektřinou se politická a ekonomická atraktivita jaderné energetiky snížila. Proto se v Evropě v posledních 20 letech téměř nestavěly (v průměru dokončeno jen 0,2 GW ročně).¹⁸ Dekarbonizace i geopolitický vývoj v posledních letech ale může jádro vrátit zpět do hry.

SEZÓNNÍ PROFIL

Stabilní výkon se hodí zejména v zimě

Jaderné elektrárny vyrábějí stabilně po celý rok.¹⁷ To se hodí zvláště v zimě, kdy má nízkou výrobu solární energetika.



Zdroj dat: ENTSO-E Transparency Platform (ČR, průměr za roky 2015–2023)

POTENCIÁL V ČR

☆☆○

40–60 TWh/rok¹⁴

Jde o potenciál současných lokalit (otevírání nových je mimořádně složité). Využít tento potenciál naplno by ovšem byl projekt na 25+ let.

ŽIVOTNOST

☆☆☆

60–80 let

Dnes se tyto elektrárny staví na 60 let, ale mělo by jít prodloužit provoz o dalších 20 nebo i 40 let.

CENA ELEKTŘINY

☆☆○

100–180 €/MWh¹⁵

Cenu snižuje levná státní půjčka, naopak ji zvyšuje prodražení výstavby (dnes v Evropě běžné).

CELKOVÉ EMISE

☆☆☆

10–30 kg CO₂eq/MWh¹⁶

Velice nízké emise celého životního cyklu, 30–100× nižší než u uhlí. Emise spojeny hlavně s výstavbou (ocel, beton) a s těžbou a úpravou uranu.

DALŠÍ VÝHODY

- **Riditelný zdroj**, který funguje nezávisle na počasí (pokud sucho nezpůsobí nedostatek chladičí vody).
- Vysoká bezpečnost provozu u moderních elektráren.

DALŠÍ NEVÝHODY

- **Trvalé úložiště vyhořelého jaderného odpadu** je komplikované postavit (zatím ho zvládla postavit jediná země na světě: Finsko).
- Dovozní závislost na jaderném palivu (na rozdíl od fosilních paliv je ale snazší mít zásoby na roky dopředu, z 1 t paliva se získá cca 2 000× více energie než z 1 t uhlí).

Výroba z větru, slunce a jádra v ČR

Shrnutí klíčových parametrů

ZDROJ	DNEŠNÍ VÝROBA	POTENCIÁL ROZVOJE	MOŽNÁ BUDOUCNOST ²⁰ Výroba a instalovaný výkon podle scénáře dekarbonizace	TEMPO ROZVOJE Co je možné během 10 let?	NÁKLADY	BEZPEČNOST A NEZÁVISLOST	STABILITA DODÁVEK A SPOLEHLIVOST
Větrné elektrárny 	0,7 TWh/rok V Česku se v minulosti téměř nestavěly a okolo roku 2010 se výstavba prakticky zastavila.	až 20–30 TWh/rok Technický potenciál v Česku je okolo 70 TWh ročně, je ovšem omezen mírou přijetí větrných elektráren obyvateli.	28 TWh/rok; 10 GW Alternativní scénáře předpokládají budoucí výrobu v rozsahu 25–45 TWh/rok.	Středně rychlé Teoreticky lze stavět rychle, větrná energetika může už v roce 2035 tvořit podstatnou část výroby (cca 5–10 TWh ročně). K tomu by ale bylo třeba rozhábat povolovací procesy a územní plánování.	70–100 €/MWh Dosažitelné náklady s dnešní cenou technologií v Česku. Oproti této úrovni dnes náklady zvyšují dlouhé a rizikové povolovací procesy. Další drobné náklady přinese integrace do sítě a vyrovnávání proměnlivé výroby.	Dobrá Naprostá nezávislost ve výrobě elektřiny – bez potřeby paliv. Určitá závislost na samotné technologii – generátory moderních větrných turbín stojí na vzácných kovech, dnes dovážených hlavně z Číny. (O snížení této závislosti usiluje evropský Critical Raw Materials Act.)	Proměnlivá výroba Větrné elektrárny mají proměnlivou výrobu, která závisí na sezóně i na aktuálním počasí. Vyrábějí více v zimní půlce roku a nezávisle na denní hodině, což je výhodné pro pokrytí vyšší zimní spotřeby elektřiny.
Solární elektrárny 	2 TWh/rok²¹ Výstavba v ČR probíhala ve dvou vlnách, první proběhla kolem roku 2010 (solární boom), druhá začala v roce 2022.	až 25–45 TWh/rok Limity pro nasazení fotovoltaiky jsou hlavně ekonomické, výroba je totiž koncentrovaná do poledních hodin v létě, v nichž má nízkou ekonomickou hodnotu. Jinak by ale nebyl problém vyrobit až 100 TWh ročně – stačila by na to 2 % území ČR.	29 TWh/rok; 26 GW Alternativní scénáře předpokládají budoucí výrobu v rozsahu 25–45 TWh/rok.	Rychlé Česko už prokázalo schopnost rychlé výstavby fotovoltaiky (cca 1 GW nového výkonu za rok). Pokračování v tomto tempu by umožňovalo okolo roku 2035 vyrábět až 15–20 TWh z fotovoltaiky ročně.	50–70 €/MWh Uvedené náklady platí pro velké instalace solárních zdrojů v ČR. Další drobné náklady přinese integrace do sítě a vyrovnávání proměnlivé výroby.	Dobrá Úplná nezávislost ve výrobě elektřiny – bez potřeby paliv. Závislost na samotné technologii – na- prostá většina solárních článků se dnes vyrábí v Číně. (O snížení této závislosti usiluje evropský Net Zero Industry Act).²²	Proměnlivá výroba Solární elektrárny mají proměnlivou výrobu, která závisí na pozici slunce na obloze i na počasí. Vý- roba je velmi koncentrovaná do letní půlky roku a do hodin okolo poledne, což přináší výzvy pro vyrovnávání soustavy.
Jaderné elektrárny 	29 TWh/rok Stávající dvě elektrárny byly zprovozněny cca v roce 1985 (Dukovany) a 2002 (Temelín).	až 40–60 TWh/rok Potenciál dvou stávajících lokalit je až okolo 60 TWh za rok. Oteví- rání nových lokalit je mimořádně složité. Jadernou výrobu mohou dále zvýšit malé modulární reakto- ry (ve stávajících lokalitách, nebo dokonce i jinde).	39 TWh/rok; 5,4 GW Alternativní scénáře předpokládají budoucí výrobu v rozsahu 30–60 TWh/rok.	Pomalé Postavit nový jaderný zdroj trvá minimálně 7–10 let, další roky zabere příprava projektu. První nový velký jaderný zdroj se určitě nepodaří uvést do provozu před rokem 2036.	100–180 €/MWh Nížší cenová hranice platí v pří- padě nové výstavby s významnou státní podporou. Horní hranice je pro novou výstavbu na tržní bázi.	Dobrá Poskytuje relativní nezávislost, neboť jaderné palivo je levné, dá se skladovat na několik let dopředu a je možné diverzifikovat dodavatele. Závislost však existuje na technologii, jejíž know-how je soustředěno u několika globálních dodavatelů.	Stabilní výroba Jaderné elektrárny jsou říditelné zdroje, které vyrábějí nezávisle na počasí. Určitou výzvou jsou při velikosti bloků neplánované odstávky – soustava potřebuje vždy záložní zdroje o velikosti největšího bloku v soustavě.

Výzvy spojené s vyvažováním sítě

Solární a větrná energie je sice v dnešní době mimořádně levná, velký podíl slunce a větru v celkovém mixu výroby elektřiny však přináší nemalé výzvy. Tato část kapitoly se věnuje té nejzásadnější z nich – vyvažování sítě. Jinými slovy: jak při proměnlivosti spotřeby a výroby z obnovitelných zdrojů zajistit, že bude vždy elektřiny dostatek (a nebudou příliš velké nadbytky)?

Proměnlivost výroby

	DLOUHODOBÁ Měsíce	KRÁTKODOBÁ Dny a týdny	Hodiny
Ze slunce	 Vysoká V letních měsících silná výroba, od října do února velmi slabá. Řešení: najít dobrou kombinaci s výrobou z větru (s. 84–85) a importem (s. 86–87).	 Nízká Jednotlivé dny v sezóně se liší, ale málokdy je více velmi slabých dnů po sobě.	 Vysoká Výroba je nejvyšší v poledne, ráno a večer slabá, v noci žádná. Řešení: využít flexibilitu spotřeby a akumulaci pro nadbytky (s. 92–93).
Z větru	 Střední V zimních měsících silná výroba, od května do září trochu slabší.	 Vysoká Dny v sezóně se mohou podstatně lišit, nezdídka nastává několik velmi slabých dnů v řadě, občas nastává i několik slabších týdnů v řadě. Řešení: využívat záložní zdroje a akumulaci (s. 94–95).	 Nízká Výroba během dne se může mírně a relativně pomalu měnit (podle změn proudění atmosféry).

Proměnlivost spotřeby

	DLOUHODOBÁ Měsíce	KRÁTKODOBÁ Dny a týdny	Hodiny
Spotřeba	 Střední V zimních měsících vyšší spotřeba kvůli vytápění.	 Nízká V pracovních dnech vyšší spotřeba než o víkendech a svátcích, v topné sezóně vyšší spotřeba při mrazivém počasí.	 Střední Nejvyšší spotřeba v ranní a večerní špičce, nejnižší v noci.

Jak si představit proměnlivost výroby

Solární panely

Kolik elektřiny v určitém konkrétním okamžiku solární panel vyrobí, závisí především na poloze slunce na obloze a na oblačnosti – a obojí se hodně mění. Pohyb slunce po obloze je zcela pravidelný: v noci tak panely nevyrábějí nic a v zimě vyrábějí výrazně méně než v létě, protože den je krátký a slunce na obloze je nízko. Naopak oblačnost je nahodilá a dá se předvídat jen částečně několik dní dopředu.

Větrné elektrárny

Podobně výroba větrných elektráren závisí hlavně na rychlosti větru. Ta má určité pravidelné rysy (např. v průměru je vyšší v zimě), ale jinak je v zásadě nahodilá a nedá se dlouhodobě předvídat.

Jak si představit proměnlivost spotřeby

Spotřeba elektřiny se mění podle toho, jaká je právě **hodina dne, den v týdnu a roční období**. Tato proměnlivost bude zřejmě podobná i v budoucnu. Nejvyšší spotřeba je při ranní a večerní špičce (když se lidé probudí nebo přijdou z práce domů, používají řadu spotřebičů), naopak nejnižší spotřeba je během noci (většina lidí spí a velká část průmyslu není v provozu). Podobně bývá vyšší spotřeba v pracovních dnech a nižší o víkendu, kdy většina firem a průmyslu není v provozu. Z hlediska ročního období je nejvyšší spotřeba elektřiny v zimě kvůli vytápění budov (v létě ji zvyšuje chlazení budov), naopak nejnižší je na jaře a na podzim.

Dlouhodobá proměnlivost výroby v ČR

PROBLÉM

Výroba ze slunce i větru je sezónně proměnlivá

Výroba solárních i větrných elektráren je značně sezónně proměnlivá. Problém je to zejména u solární výroby, která je v zimních měsících opravdu nízká.

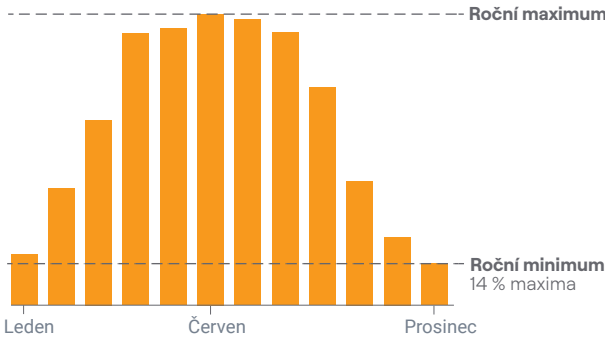
Solární elektrárny vyrábějí málo v zimních měsících

Celoroční spotřebu tak mohou solární elektrárny pokrýt jen těžko.

Větrné elektrárny vyrábějí nejvíc v zimních měsících

Větrné elektrárny se tak se solárními dobře doplňují.

PRŮMĚRNÁ VÝROBA ZE SLUNCE PO MĚSÍCÍCH V ČR (2015–2020)



Zdroj dat: ENTSO-E, Transparency Platform
(průměrná výroba po měsících v ČR za roky 2015–2020, normalizovaná vzhledem k ročnímu maximu).

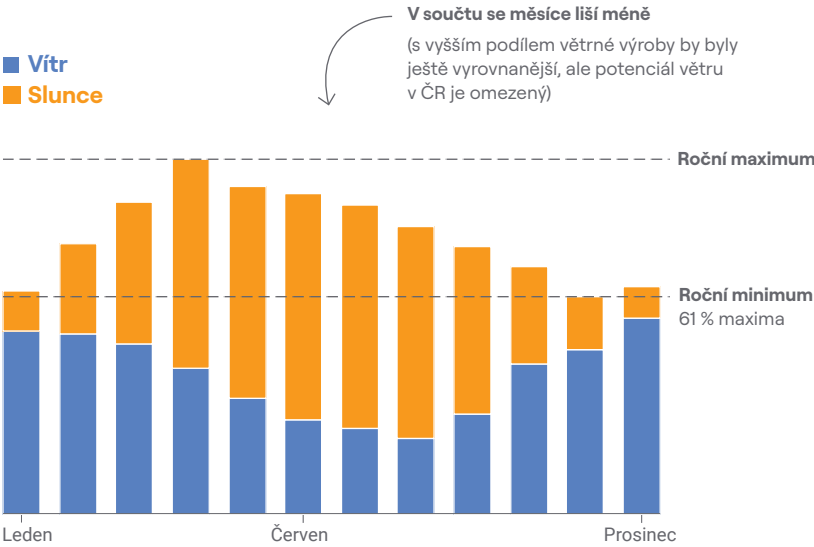
ŘEŠENÍ

Výrobu ze slunce co nejvíce doplnit výrobou z větru

Sezónní proměnlivost obnovitelných zdrojů je možné do velké míry snížit vhodnou kombinací slunce a větru.

Jinými slovy jde o to poskládat výrobu elektřiny ze slunce a větru tak, aby byla po celý rok co nejvíc vyrovnaná – a ideálně mírně vyšší v zimních měsících, kdy je také vyšší spotřeba. K tomu by bylo potřeba cca 2–3× více větrné výroby než solární. Protože je však v českých podmínkách potenciál větrné energetiky omezený, reálnější je dosáhnout mezi solární a větrnou výrobou vyrovnaného poměru (1:1). S tím také počítá scénář možné budoucnosti (*str. 72*). To vede k mírně vyšší výrobě během léta.

VÝROBA SLUNCE A VĚTRU VE SCÉNÁŘI MOŽNÉ BUDOUCNOSTI



Zdroj dat: vlastní zpracování

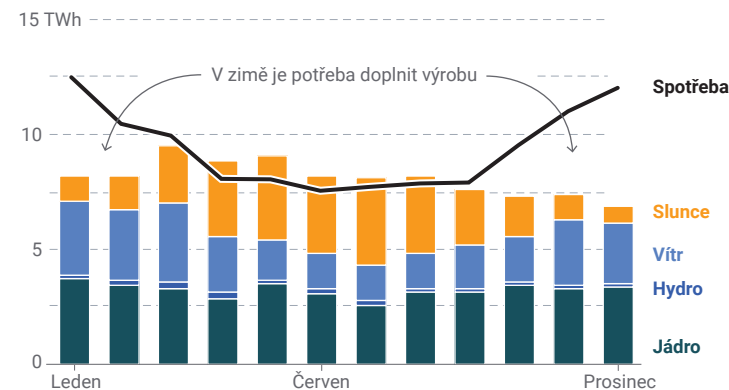
Dlouhodobá proměnlivost spotřeby v ČR

PROBLÉM

Zimní spotřeba je mnohem vyšší

V mixu základních zdrojů podle scénáře možné budoucnosti (*str. 72*) by pořád v zimní půlce roku bilančně scházelo podstatné množství elektřiny.

Se svým sezónním profilem by to pomohla řešit ještě vyšší větrná výroba, ale ta už v českých podmínkách nemusí být možná.



Zdroj dat: vlastní zpracování

ŘEŠENÍ

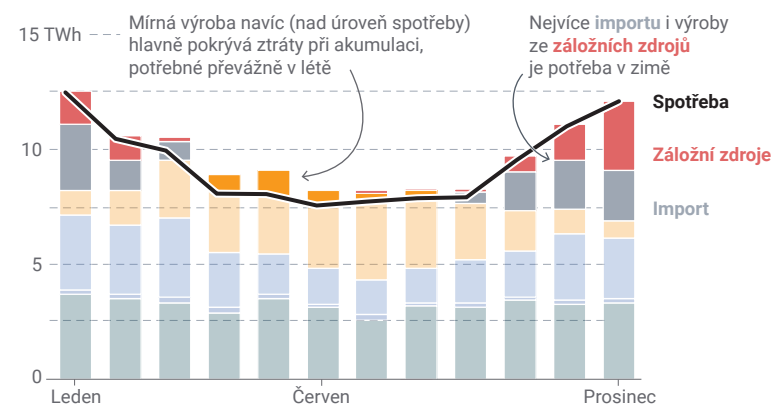
Lze využít import, záložní zdroje a akumulaci

Co doplní chybějící výrobu v zimě podle scénáře možné budoucnosti?

Systematický import hlavně větrné elektřiny ze zahraničí (viz pravá strana).

Záložní zdroje, teplárny či akumulační zdroje. Doplnkové zdroje jsou potřeba celý rok. Vyšší potřeba těchto zdrojů během zimy je příhodná, z části tuto potřebu pokryje výroba tepláren.

Jsou i jiná možná řešení? Alternativní scénáře ukazuje *str. 88*.



Zdroj dat: vlastní zpracování

Jak v zimě zajistit import elektřiny?

Co by Česku umožnilo importovat elektřinu, kterou si neumí snadno vyrobit?

Rozvoj sítí a propojení Evropy

Pro využití zahraniční výroby je třeba výrazně posilovat přenosové soustavy, aby přebytky v jedné oblasti mohly pokrýt nedostatky jinde.

Posilování přenosových soustav a interkonektorů napříč Evropou již roky probíhá – koordinuje jej evropská síť provozovatelů přenosových soustav ENTSO-E (za Česko je v ní český provozovatel přenosové sítě ČEPS). Do budoucna bude zásadní v tomto rozvoji a spolupráci mezi zeměmi pokračovat.

Důležitý je také rozvoj sítí pro vítr na moři. Už v roce 2040 by mohlo být skoro 20 % evropské elektřiny z větrných turbín na moři. Pro integraci tolika větrné elektřiny bude podle odhadů potřeba okolo 50 tisíc km podmořských přenosových kabelů.²⁴

Rozvoj obnovitelných zdrojů po Evropě

Pro zajištění významného importu elektřiny do Česka během zimy je klíčový rozvoj větrné energetiky v Evropě.

Podle evropských plánů rozvoje na dalších 10–20 let potřebuje větrná energetika do roku 2050 v Evropě vzrůst asi 4× (solární energetika asi 6×).²³

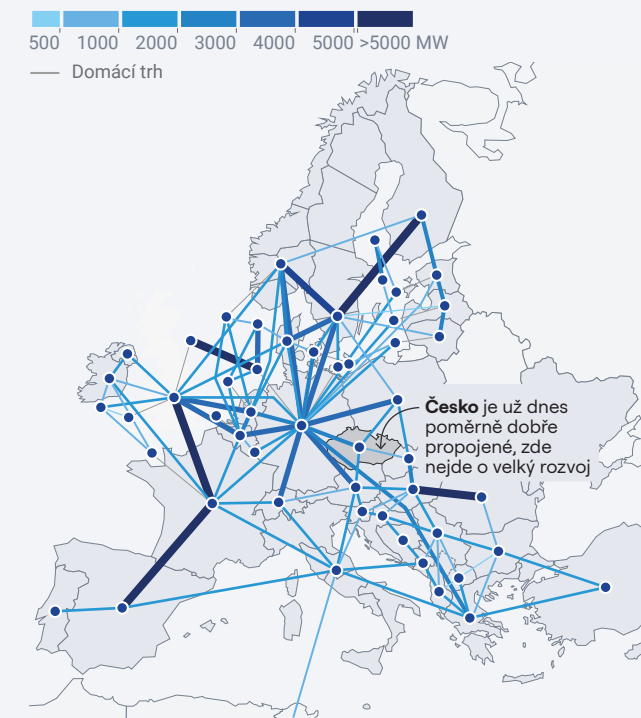
Obnovitelné zdroje napříč Evropou se v posledních 10 letech staví mimořádným tempem, více na *str. 96–99*, ale pro splnění těchto cílů by bylo potřeba toto tempo ještě dále navyšovat.

Co může dělat Česko pro zajištění importu?

- Posilovat energetickou spolupráci v EU
- Posilovat přenosové sítě na hranicích i na našem území (jako prioritní projekty z EU fondů)
- Jednat o potřebném rozvoji sítí a zdrojů mimo naše území (např. se podílet na financování)

Kromě toho je potřeba rozvíjet domácí energetiku tak, aby fungovala i bez podstatného importu ze zahraničí.

EKONOMICKY NEJVÝHODNĚJŠÍ ROZVOJ PŘESHHRANIČNÍCH KAPACIT MEZI LETY 2030 A 2050



Zdroj dat: ENTSO-E, Ten-Year Network Development Plan 2024, Infrastructure Gaps Report (součást společného evropského modelování optimálního rozvoje síťových kapacit).

Jak jinak by mohl vypadat budoucí energetický mix ČR?

Hlavní scénář možné budoucnosti, s nímž pracuje tato publikace, počítá s vysokým rozvojem větrné a solární energetiky a také s nemalým rozvojem jaderné energetiky. Protože je však rozvoj elektroenergetiky spojen s řadou nejistot, může se vše nakonec vyvíjet i jinak. Pro ilustraci dalších možností vývoje přináší tato strana následující tři alternativní scénáře.



Víc importu místo větru (a trochu více solárů)

Pokud se v Česku nepostaví dost větrných elektráren, mohl by pomoci **import** – to ovšem vyžaduje úspěšný rozvoj větrné energetiky v zahraničí a také úspěšný rozvoj přenosových sítí napříč Evropou.

Riziko: závislost na importu elektřiny, rozvoj větrné energetiky i sítí v zahraničí navíc nemusí být dostatečný



Víc jádra místo větru (a trochu méně solárů)

Absenci větrné výroby může také kompenzovat výrazné **navýšení jaderné výroby** (např. postavit další dva bloky v Temelíně). Pokud by nebyl možný výrazný import elektřiny v zimních měsících, bylo by nutné vyrobit hodně elektřiny ze **záložních** zdrojů.

Riziko: ambiciózní rozvoj jaderné energetiky se nemusí zdařit



Víc slunce místo jádra (a více sezónní akumulace)

Česko také může pouze usilovat o udržení **současného výkonu jaderné energetiky**. To by ale vyžadovalo mnohem výraznější rozvoj **solární energetiky a sezónní akumulace** (a navíc úspěšný rozvoj větrné energetiky).

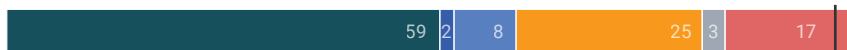
Riziko: technologie pro sezónní akumulaci nemusí být k dispozici

■ Jádno ■ Hydro ■ Větr ■ Slunce ■ Import ■ Záložní zdroje | Spotřeba

Více importu místo větru



Více jádra místo větru



Více slunce místo jádra



Hlavní scénář možné budoucnosti



Vyvážený scénář s nízkými celkovými náklady, představený na s. 72–73. Počítá s výrazným rozvojem větrné energetiky (důležitým pro snížení nákladů) a současně s rozvojem jaderné energetiky (pro další snížení závislosti na importu).

Riziko: tak velký rozvoj větrné i jaderné energetiky se nemusí zdařit

Každý scénář využívá akumulaci jiným způsobem, a proto se liší i ztráty elektřiny při akumulaci (které je nutné nahradit dodatečnou výrobou).

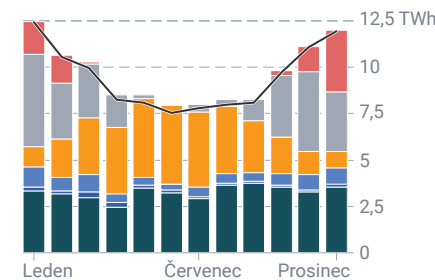
Zdroj dat: vlastní zpracování²⁵

Dlouhodobá proměnlivost: jak ji řeší jiné scénáře

Další možné scénáře budoucího mixu ukazují jiný poměr zdrojů (více by se využíval jeden zdroj oproti jinému). Pohled na výrobu a spotřebu elektřiny měsíc po měsíci mnohem lépe ukazuje sezónní vyváženost každého scénáře.



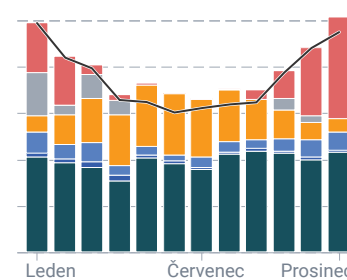
Víc importu místo větru



Velmi vysoký import elektřiny od října do března by závisel hlavně na tom, kolik vyrobí větrná energetika v zahraničí.



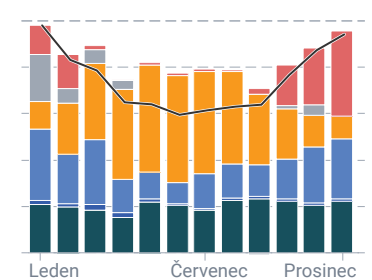
Víc jádra místo větru



Výrazné nedostatky v zimní výrobě by musely pokrýt záložní zdroje (nebo případně import elektřiny jako v předchozím scénáři).



Víc slunce místo jádra



Větší rozvoj fotovoltaiky by měl dvojitý efekt: bylo by více energie pro sezónní akumulaci a navíc by byla vyšší výroba přímo v zimě.

Zdroj dat: vlastní zpracování

Proč Česku nestačí spoléhat na jeden hlavní zdroj elektřiny?

Spoléhat jen na **jaderné elektrárny** nestačí, protože:

- Česko jich nedokáže postavit dost najednou, nemáme na to odborné kapacity, peníze v rozpočtu apod.
- Nové jaderné bloky budou hotové nejdříve za 10 let, výrobu elektřiny je však třeba dekarbonizovat rychleji.

Spoléhat jen na **větrné elektrárny** nestačí, protože:

- Potenciál větru v Česku je sice významný, ale zdaleka nepostačuje na pokrytí veškeré spotřeby.
- Není jasné, jakou část potenciálu větru dokáže Česko využít (zatím se zde tyto elektrárny téměř nestaví).

Spoléhat jen na **solární elektrárny** nestačí, protože:

- Vyrábějí hlavně v létě. Výrazná sezónní akumulace elektřiny zatím není ekonomicky ani technicky dostupná.
- Navíc by bylo těžké integrovat do sítě tolik fotovoltaiky, aby její výroba stačila na sezónní akumulaci.

Spoléhat do velké míry na **systematický import** elektřiny (například zimní výroby z větru) je riskantní, protože:

- Česko nemá fyzicky ani politicky import ve svých rukou.
- Energetická politika je z velké části v gesci členských států, systematický import nám tedy nemůže zaručit ani Evropská unie.

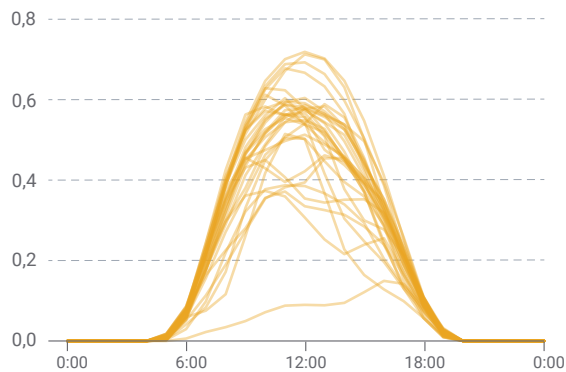
Krátkodobá proměnlivost výroby v ČR

PROBLÉM

Slunce vyrábí jen přes den

Většina solární výroby v létě je koncentrována mezi 8. a 16. hodinou. Velké solární instalace by pak přes poledne tvořily nadbytky výroby, zatímco v noci nedodávají žádnou elektřinu. (Větrná výroba žádné takové pravidelné denní výkyvy nemá.)

Hodinový koeficient využití v Česku



Hodina během dne
Graf ukazuje denní průběh všech dnů během července 2016

Zdroj dat: ENTSO-E, Pan-European Climate Database (2023)

ŘEŠENÍ

Využít nadbytky elektřiny

hlavně ze slunce v letní půlce roku

- **Flexibilita spotřeby**
- **Krátkodobá akumulace**
- Další nástroje: **export** (když je to zrovna možné) a **maření** (když není jiná možnost)

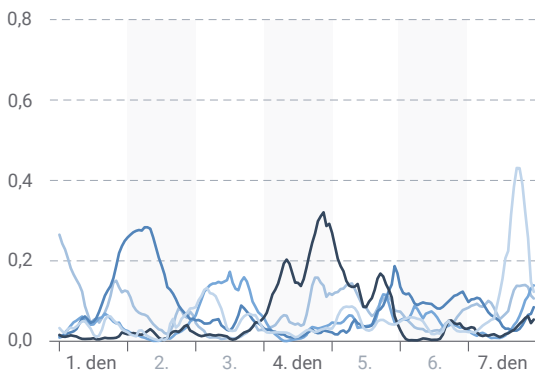
Více na str. 92–93.

PROBLÉM

Vítr někdy vyrábí málo celý týden

V zimě se taková situace často pojí i s nízkou solární výrobou. Takovým obdobím se říká *Dunkelflaute* (doslova „temné bezvětří“).

Hodinový koeficient využití v Česku



Den v týdnu
Graf ukazuje jen 3 % nejhorších lednových týdnů 1982–2019

Zdroj dat: ENTSO-E, Pan-European Climate Database (2023)

ŘEŠENÍ

Zajistit dostatek elektřiny

hlavně při nízké větrné výrobě v zimní půlce roku

- **Import ze zahraničí** (když je to zrovna možné)
- **Flexibilita spotřeby a různé formy akumulace**
- **Záložní zdroje**

Více na str. 94–95.

KONKRÉTNÍ PŘÍKLADY

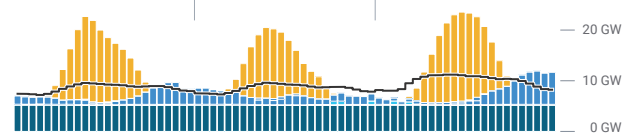
Krátkodobá proměnlivost možné budoucí výroby a spotřeby

Ve scénáři této publikace (představeném na str. 72) hraje krátkodobá proměnlivost solární a větrné výroby zásadní roli. V součtu s jadernou výrobou tak tyto zdroje někdy pokryjí jen část spotřeby, někdy celou spotřebu, jindy jsou dokonce velké nadbytky výroby.

■ Slunce ■ Vítr ■ Hydro ■ Jádru

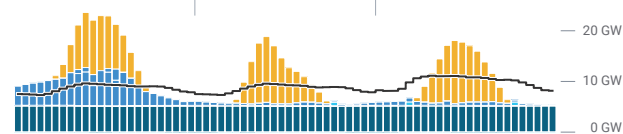
Letní půlka roku

Tři květnové dny



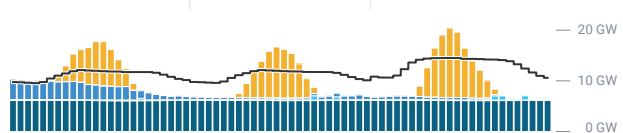
Velká výroba: v květnu mohou nastat větrné a slunečné dny, kdy by skoro vždy byly nadbytky výroby – jejich plné využití v takové situaci je výzva.

Tři srpnové dny



Střední výroba: velké polední nadbytky výroby by bylo možné flexibilně využít, příp. akumulovat na noc.

Tři zářijové dny



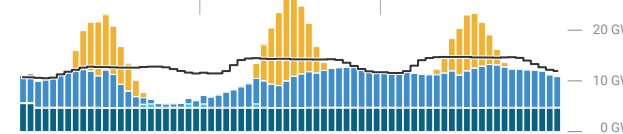
Malá výroba: při zamračeném počasí bez větru v září by mohlo v poledne docházet k mírným přebytkům – lze akumulovat na večer, během noci by ale byly třeba další zdroje.

Zdroj dat: vlastní zpracování²⁶

Krátkodobě proměnlivá je také spotřeba elektřiny – ve dne je totiž vyšší spotřeba v domácnostech, službách a velké části průmyslu (to se hodí pro solární výrobu, ke které dochází jen během dne).

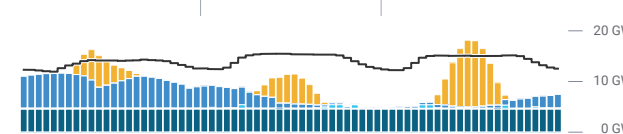
Zimní půlka roku

Tři únorové dny



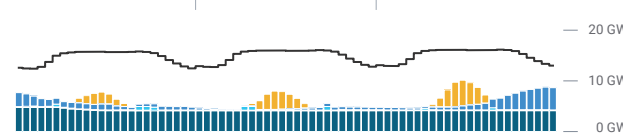
Velká výroba: i v únoru mohou nastat slunečné a větrné dny, výroba hlavních 3 zdrojů by ale ani tak nemusela vždy pokrýt vysokou zimní spotřebu – zde může pomoci krátkodobá akumulace.

Tři jiné únorové dny



Střední výroba: část spotřeby by byla pokrytá, velká část by ovšem chyběla a bylo by třeba ji pokrýt dalšími (záložními) zdroji.

Tři listopadové dny



Malá výroba: v zatažené bezvětrné dny, např. v listopadu, by mohla být výroba ze slunce a větru velmi nízká – v takové dny by byly intenzivně potřeba záložní zdroje (příp. import).

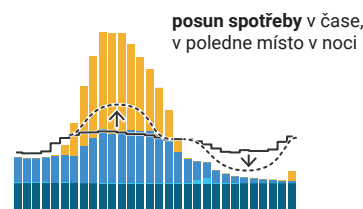
Co s případnými nadbytky elektřiny?

Týká se to především letního poledne, kdy může vznikat nadbytek solární elektřiny. Pokud se Česko vydá cestou vyššího rozvoje solární energetiky (více než 20 GW), budou zhruba od dubna do srpna v poledne vysoké nadbytky výroby – zejména v případě, že bude současně foukat vítr. Většina těchto nadbytků se nicméně dá dobře a ekonomicky výhodně využít.

Toto je hlavně **ekonomická otázka**: jak nastavit systém, aby se nadbytečná elektřina užitečně využila a měla stále kladnou ekonomickou hodnotu.

Flexibilita spotřeby

Vyšší spotřeba při vyšší výrobě, nižší spotřeba při nižší výrobě

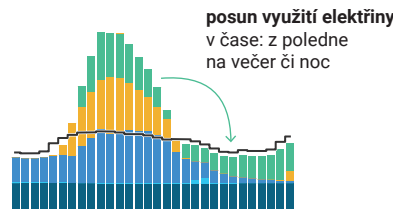


Různé druhy spotřeby elektřiny (viz vpravo) lze chytrým řízením posunout v čase, a tak uzpůsobit potřebám sítě.

Odměnou pro spotřebitele je nízká cena elektřiny (případně další finanční bonus za pomoc při stabilizaci sítě).

Akumulace

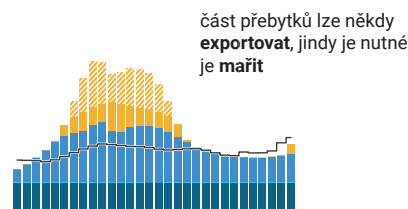
Elektřiny, tepla nebo formou paliva



Na využití přebytků bude potřeba široká škála akumulačních zařízení.

Ta dražší dokážou elektřinu opět účinně vyrobit (např. baterie nebo přečerpávací elektrárny). Levnější zařízení dokážou dodávat teplo (např. izolované nádrže na horkou vodu).

Další nástroje



Zdroj dat: vlastní zpracování²⁷

Export

K exportu části solárních přebytků dochází, když v okolních zemích svítí slunce o něco méně než v Česku nebo když tam málo fouká vítr. Tehdy může česká elektřina směřovat do zahraniční akumulace, nebo dokonce k přímé spotřebě.

Maření

Jedná se o poslední možnost, když jiné nástroje nestačí. Nejjednodušší způsob maření je prostě elektřinu nevypnout (solární elektrárnu na chvíli „vypnout“).

Jak využít flexibilitu spotřeby a akumulace

Seřazeno od využití, která jsou dnes považována za významnější, po ta méně významná

FLEXIBILNÍ SPOTŘEBA

Flexibilní nabíjení elektroaut

Podíl dopravy na celkové spotřebě elektřiny může být až ¼. Chytré řízení sítě spolu s jasnou cenovou motivací mohou část této spotřeby posunout v čase (např. do poledních hodin při nejvyšší solární výrobě).

Flexibilní vytápění, chlazení, ohřev vody

Důležitá může být spotřeba elektřiny v tepelných čerpadlech, klimatizacích, bojlerch – v budovách stejně jako v teplárnách a průmyslu. Také tato spotřeba je zčásti flexibilní díky přirozené akumulaci tepla (ve hmotě budov, chladicím systému, rozvodech z tepláren apod.).

Flexibilita průmyslových procesů

Flexibilní může být i část průmyslové spotřeby, např. využití elektřiny v obloukové peci, při mletí slínku v cementárně či při elektrolýze (výroba chloru a hydroxidu sodného).

Chytré spotřebiče

Například chytrá pračka kombinovaná se sušičkou může automaticky prát v poledne, kdy je elektřina nejlevnější.

AKUMULACE

Baterie (a další krátkodobá akumulace)

Stacionární baterie můžou hrát v síti zásadní roli, jejich cena v posledních letech výrazně klesá. Může jít o nové baterie, ale i o *second-life* vyřazené baterie z elektroaut (před jejich recyklací). Baterie jsou efektivním typem akumulace, mají účinnost až 90 % (tedy při nabíjení a vybíjení se ztratí jen asi 10 % energie). Kromě lithiových baterií se mohou prosadit i další technologie úložišť, může také vzniknout několik nových přečerpávacích elektráren (s účinností až 80 %).

Vehicle-to-grid

Za finanční odměnu pro majitele elektroaut může být baterie ve voze (připojeném k dobíjení) využita také pro stabilizaci sítě, jako zdroj elektřiny při jejím nedostatku.

Sezónní akumulace tepla

Velký zásobník s objemem stovek tisíc litrů vody (něco jako „obří termoska“) může účinně uložit přebytečnou elektřinu ve formě tepla a pokrýt tak část spotřeby dálkového tepla během zimy.

Výroba vodíku

(a další dlouhodobá akumulace)

Vodík jako palivo lze využít v dopravě, průmyslu nebo na výrobu elektřiny a tepla. Zatím není zřejmé, kolik výroby vodíku v Česku bude, ekonomicky to vychází lépe v zahraničí (kde jsou častější přebytky větrné elektřiny). Akumulace elektřiny pomocí vodíku má velmi nízkou účinnost, dnes cca 30 %.²⁸

Pořadí nasazování těchto technologií pro využití nadbytků elektřiny záleží na trhu – přednost bude mít ten, kdo z nadbytečné elektřiny vytvoří větší hodnotu, a bude tak ochoten za takovou elektřinu nabídnout o něco více peněz.²⁹

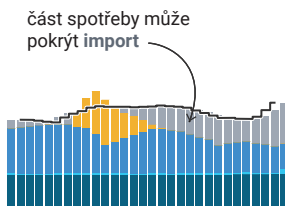
Jak zajistit, že elektřiny bude vždy dost?

Týká se především situací v zimě, kdy nesvítí slunce ani nefouká vítr. Solární a větrná výroba je proměnlivá a Česko potřebuje mít tzv. výkonovou soběstačnost – tedy dost zdrojů schopných zajistit dostatek elektřiny kdykoli. Nedostatek elektřiny by mohla částečně pokrýt akumulace, částečně říditelné záložní zdroje.

Tato otázka nutně neznamená zajištění výrobní soběstačnosti (vždy vyrobít veškerou elektřinu v ČR). Často je výhodnější import.

Import ze zahraničí

Když tam právě fouká

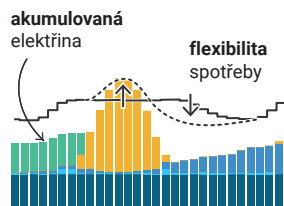


Na rozsáhlém území celé Evropy je výrazně **nižší proměnlivost výroby** ze slunce a větru.³⁰

Mírná **systematická nadvýroba** v EU (pro výrobu nízkoemisních paliv jako např. vodík) může zaručit, že slunce a vítr dokážou pokrýt více spotřeby.

Při **dobrém propojení** přenosových soustav tak může nemalou část chybějící výroby v Česku poskytnout import (viz *str. 86–87*).

Flexibilita a akumulace



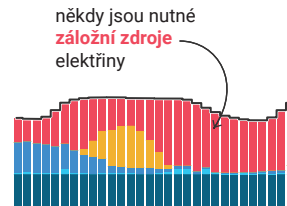
Úzce souvisí s využitím nadbytků výroby (*str. 92–93*). Flexibilita a akumulace pomohou:

- **snížit spotřebu** elektřiny při horších podmínkách pro obnovitelnou výrobu
- **zvýšit výrobu** využitím baterií, elektroaut, přečerpávacích elektráren apod.

Flexibilita spotřeby i akumulace tedy mohou zčásti vyrovnávat výkyvy výroby a spotřeby – a stačí pak využívat méně záložních zdrojů.

Záložní zdroje

Teplárny, elektrárny i tzv. špičkovací zdroje



Zdroj dat: vlastní zpracování³²

Mix výroby elektřiny s vysokým podílem větrné a solární výroby vždy potřebuje **dost záložního výkonu**. Zároveň je tento mix výhodné poskládat tak, aby záložní zdroje celkově vyráběly málo (viz *str. 86–87*). Tyto zdroje:

- je sice docela **levné postavit** (stavět plynový zdroj na špičky spotřeby stojí asi 10–15× méně než jaderný blok o stejném výkonu)³¹
- ale mají **drahou výrobu** elektřiny (nízkoemisní palivo či technologie jsou drahé).

Typy akumulace

KRÁTKODOBÁ: HODINY

Příklad: Lithiové baterie, přečerpávací elektrárny

Účel: Podpůrné služby pro síť (na to se hodí např. speciální výkonné baterie s kapacitou jen několika desítek minut), posun solární výroby na večer nebo noc, posun větrné výroby na den, vykrývání špiček spotřeby.

Záložní (říditelné) zdroje

DNES DOSTUPNÉ

Zemní plyn (bez technologie zachytávání uhlíku)

Tento způsob s sebou stále nese značné emise skleníkových plynů, proto jej v budoucnu nejspíš budou více a více prodrazovat emisní povolenky. Navíc může být toto využití omezeno další regulací (např. na pokrytí výjimečných špiček spotřeby). Je tedy vhodné hledat alternativy.

Pevná biomasa (a komunální odpad)

Má omezený potenciál a nižší výhřevnost. Ekonomicky a energeticky dává smysl využívat jen materiál z blízkého okolí. Na vzdálenost větší než několik desítek kilometrů se to už nevyplatí.

Biometan

Je vyroben z organické hmoty a je tedy uhlíkově neutrální. Chemicky je to metan (stejně jako zemní plyn). Lze jej přepravovat plynovody a skladovat v zásobnících. Má slibný, ale omezený potenciál.

VÍCEDENNÍ: DNY A TÝDNY

Příklad: Řada technologií ve vývoji a v ranější fázi škálování (průtočné baterie, tepelná úložiště, stlačený vzduch apod.).

Účel: Překlenutí delších období s nízkou výrobou (tzv. Dunkelflaute); dokud takové technologie nebudou k dispozici, je nutné místo nich využívat záložní zdroje.

MOŽNÉ V BUDOUCNU, ALE NEJISTÉ

Zemní plyn (s technologií zachytávání uhlíku)

Zachytávání uhlíku může snížit přímé emise CO₂ až o 90 %. Tato technologie je ovšem nákladná, ve fázi demonstračních projektů a vyžaduje infrastrukturu potřebnou na transport a skladování zachyceného uhlíku. Více na *str. 140*.

Nízkoemisní vodík

Dostupnost závisí hlavně na vývoji v zahraničí, kde jsou lepší podmínky pro jeho výrobu pomocí obnovitelné elektřiny. Dá se přepravovat upravenými plynovody a skladovat ve speciálních plynových zásobnících. Více o výrobě vodíku na *str. 138*.

Vodík v tomto případě slouží pro dlouhodobou akumulaci elektřiny, ovšem s velmi nízkou účinností – okolo 30 %. To znamená, že zhruba 70 % původní elektřiny se v tomto procesu ztratí. Proto nelze čekat, že by to byl zásadní a levný zdroj elektřiny, např. pro topení. Přesto může hrát podstatnou roli v instalovaném výkonu záložních elektráren.

Pořadí zapojování akumulačních i záložních zdrojů opět závisí na trhu – přednost bude mít ten, kdo elektřinu dokáže dodat levněji.³³

Které zdroje elektřiny rostou v EU?

Během posledních 25 let významně roste výroba z větru, v menší míře výroba ze slunce a biomasy. Naopak vodní a plynová výroba stagnují, jaderná výroba pomalu klesá. Výrazně ubylo výroby z uhlí.

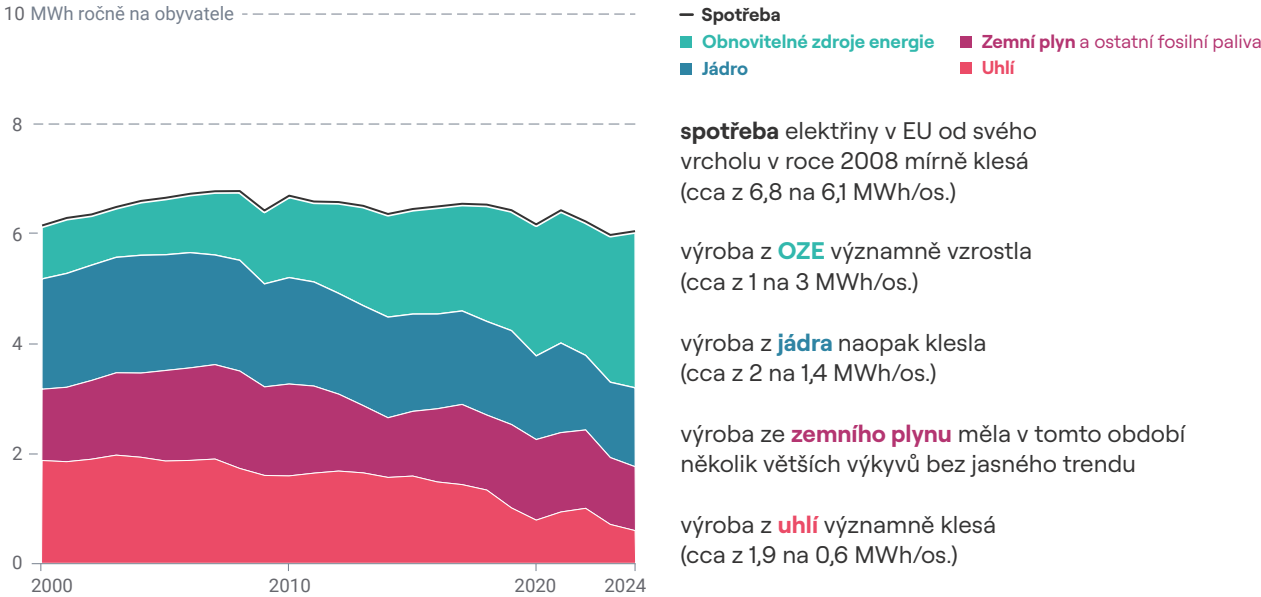
CELKOVÁ VÝROBA

Fosilní zdroje jsou postupně nahrazovány obnovitelnými

Od roku 2000 přibývá v Evropské unii pouze výroba z obnovitelných zdrojů. **Výroba** ze všech ostatních zdrojů více či méně klesá. **Spotřeba** celé EU po roce 2008 mírně klesá (kvůli energetickým úsporám i postupnému oslabování energeticky náročné průmyslové výroby).



Roční výroba elektřiny na obyvatele v EU



Zdroj dat: Ember, Yearly Electricity Data

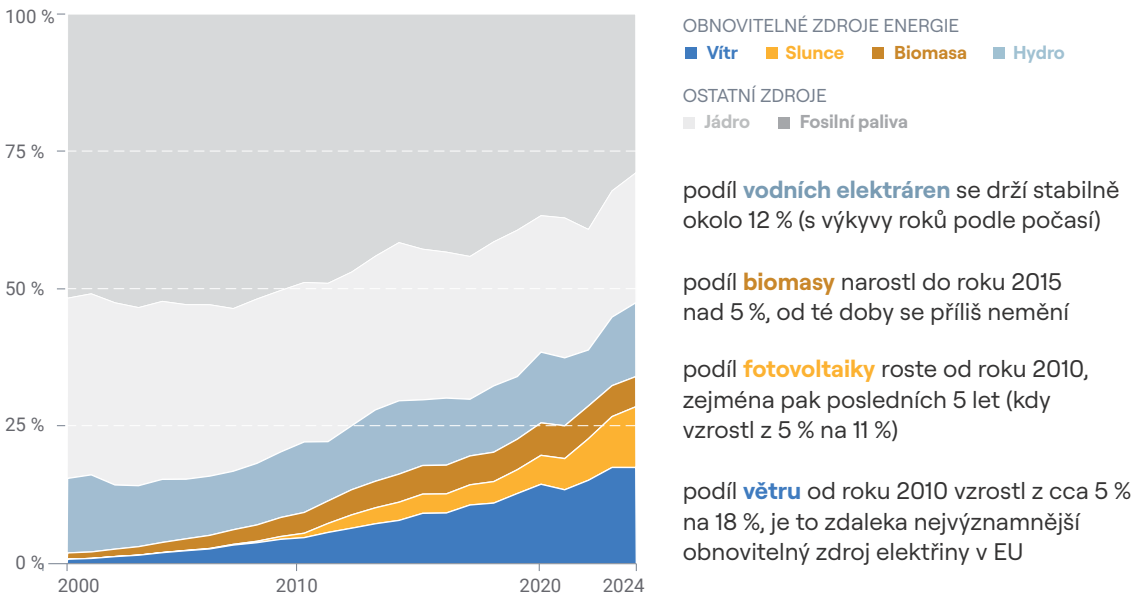
PODÍL OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ NA VÝROBĚ

Nejvíce přibývá výroby z větru

Další podstatný nárůst od roku 2000 zaznamenala solární energie i výroba elektřiny z biomasy. Naopak výroba z vodní energie už nemá příliš kam růst – převážná většina jejího potenciálu už byla v Evropě dávno využita.



Podíl obnovitelných zdrojů na výrobě elektřiny v EU



Zdroj dat: Ember, Yearly Electricity Data

Jak vypadá výroba elektřiny jinde v Evropě?

Každá země má jinou historii, nerostné zdroje i geografické podmínky, proto se taky významně liší vývoj jejich energetik. Ukážeme to na 6 příkladech.

NĚMECKO

Energiewende

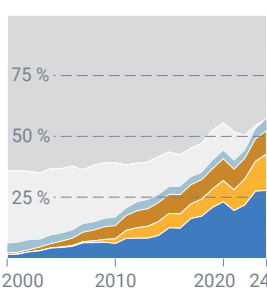
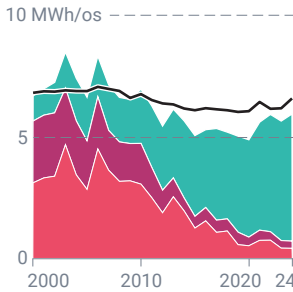
Německo mělo energetiku založenou na uhlí, jádru a plynu. Země se po roce 2010 rozhodla pro energetickou transformaci (*Energiewende*): odchod od jádra i fosilních paliv. To první splnila, k tomu druhému jí ještě kus cesty zbývá. Výroba z obnovitelných zdrojů stoupla z cca 17 % na více než 50 %.

Celková roční výroba
elektřiny na obyvatele
(MWh/ob.)

■ **Uhlí**
■ **Ostatní fosilní paliva**
■ **Jádro**
■ **Obnovitelné zdroje**

Podíl OZE
na výrobě elektřiny

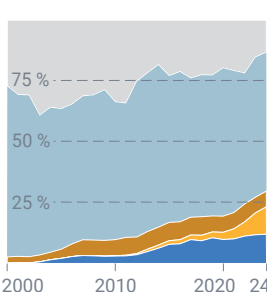
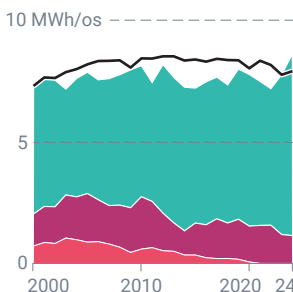
OZE
■ **Vítr**
■ **Slunce**
■ **Biomasa**
■ **Hydro**
Ostatní zdroje
■ **Fosil**
■ **Jádro**



RAKOUSKO

Alpská voda

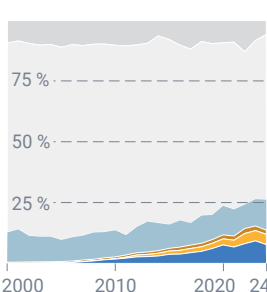
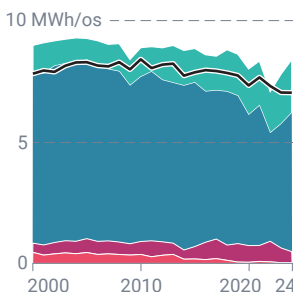
Rakousko má díky Alpám významnou hydroenergetiku. Tu doplňuje rostoucí výroba z větru a slunce. Nejvíce větrných turbín je v nížinách na severovýchodě země (tedy v podobných podmínkách jako na jižní Moravě). Uhlí tato země opustila v roce 2020, zemní plyn ale stále využívá.



FRANCIE

Jaderná velmoc

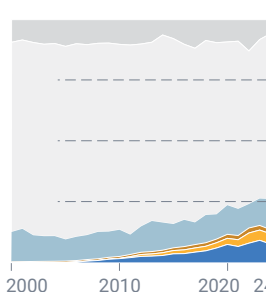
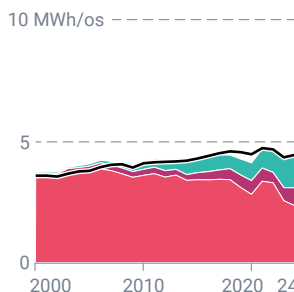
Francie má nejvyšší podíl jaderné elektřiny na světě (velká výstavba proběhla v 70. a 80. letech), doplněné elektřinou z vody a fosilních paliv. Francouzská společnost EDF také jako jediná na kontinentu dokáže stavět nové jaderné elektrárny. Po roce 2010 ale Francie významně rozvíjí i obnovitelné zdroje, zejména větrnou energetiku, čímž kompenzuje klesající jadernou výrobu.



POLSKO

Nenápadný odklon od uhlí

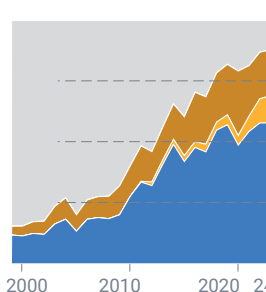
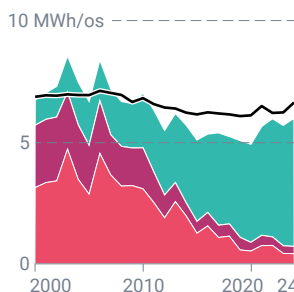
Polsko bylo v roce 2000 v podstatě 100% závislé na výrobě elektřiny z uhlí. V roce 2024 už obnovitelné (hlavně z větru) vyrobilo více než čtvrtinu své elektřiny. Je za tím cílené úsilí vlády o rychlý rozvoj obnovitelných zdrojů včetně provozní podpory.



DÁNSKO

Převaha větru

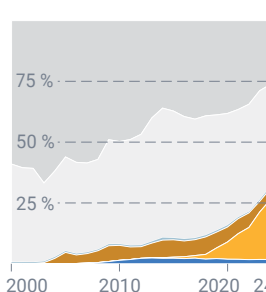
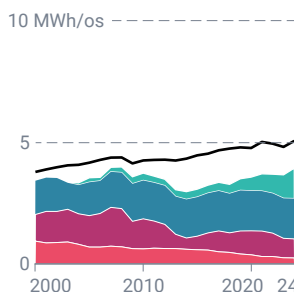
Dánsko mělo také převahu uhlí a plynu, nicméně od roku 2000 zásadně rozvíjí větrnou energii, takže tento jediný zdroj dnes vyrábí více než 50 % dánské elektřiny. Obnovitelné zdroje dnes pokrývají asi 80 % spotřeby, zbytek tvoří fosilní paliva a import.



MAĎARSKO

Solární růst

Maďarsko mělo energetiku založenou na uhlí, plynu a jádru. Role uhlí setrvale klesá, v celkovém mixu jej nahrazují solární zdroje. Zvyšující se spotřebu elektřiny ale také pomáhá pokrývat rostoucí dovoz.



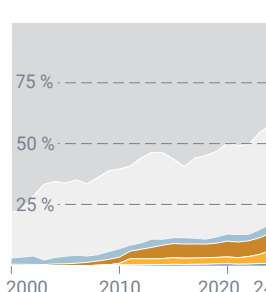
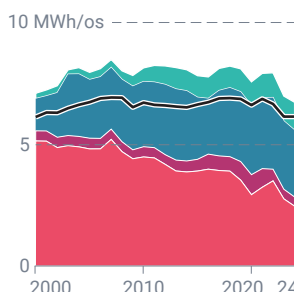
Zdroj dat: Ember, Yearly Electricity Data

ČR má nejnižší podíl obnovitelných zdrojů v celé EU

ČESKO

Stagnace obnovitelných zdrojů

Česko mělo velké zásoby uhlí a má zkušenosti i s jadernou energetikou. Obnovitelné zdroje rozvíjí nejpomaleji v EU, přestože jejich potenciál je v Česku velký. Do budoucna Česko plánuje rozvoj obnovitelných zdrojů akcelarovat a také dále rozvíjet jadernou energetiku.



Co ovlivňuje náklady na výrobu elektřiny

Dekarbonizovaná výroba elektřiny musí být spolehlivá a dodávky cenově dostupné. Přestože celkové náklady jsou nejnižší u solární a větrné výroby, je třeba vzít v úvahu i další souvislosti.

Celkové náklady jsou nejnižší u výroby ze slunce a větru

Pro celkové náklady (tzv. LCOE³⁴) to platí i v českých podmínkách. Když se náklady rozpočítají na jednotku výroby (MWh), vychází dnes nejlevněji právě tyto nízkoemisní zdroje. Pro všechny zdroje uvedené níže se počítá se srovnatelnou státní podporou (viz pravou stranu).

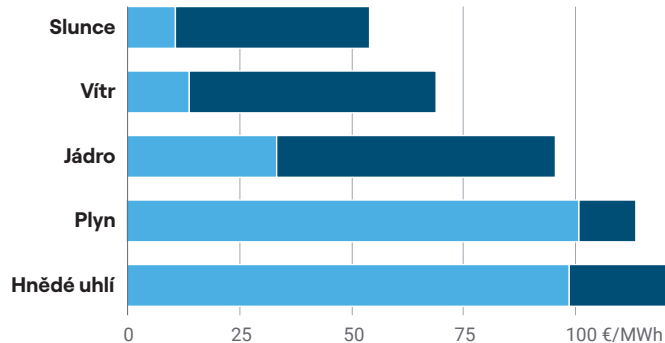
U každého zdroje jsou jiné provozní a investiční náklady

Investiční náklady:

- plánování a výstavba elektrárny (a její likvidace)
- náklady na kapitál (zjednodušeně úroky z půjčky, za kterou se elektrárna staví)

Provozní náklady:

- palivo
- emisní povolenky
- platy zaměstnanců
- údržba a provozní materiál



Zdroj dat: vlastní zpracování³⁶

Náklady se za posledních 15 let výrazně proměnily

Pozorovatelné jsou tři trendy ve změně nákladů:



Emisní povolenky zdražily provozní náklady u uhlí a plynu.

Emisní povolenky přinesly nárůst provozních nákladů zhruba o 65 €/MWh u hnědého uhlí a o 25 €/MWh u plynu.



Škálování technologie značně snížilo investiční náklady slunce a větru.

Např. solární elektrárny byly před 15 lety skoro 6× dražší než dnes, tedy za zhruba 300 €/MWh.



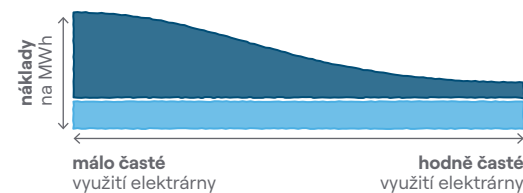
Proměny trhu mírně zvýšily investiční náklady u jádra.

Důvodem je hlavně zvyšování bezpečnostních standardů a rozpad dodavatelských řetězců po Evropě.³⁵

Celkové náklady na výrobu elektřiny dále ovlivňuje více faktorů

Míra využití elektrárny

Pokud se elektrárna využívá málo, je výroba v ní drahá (při započtení investičních nákladů). Je to podobné, jako kdyby člověk ujel novým autem jen 500 km za rok – každý kilometr by ho pak stál cca 50–100 Kč.



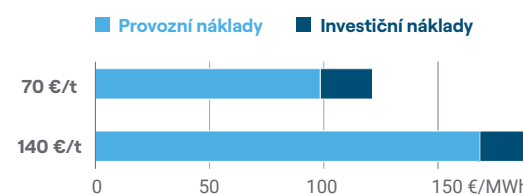
Ve výrobě elektřiny se to týká např. plynových elektráren. Ty mohou sloužit jako:

- **základní zdroj elektřiny** (při využití 50 % času vychází náklady okolo vlevo ukázaných 115 €/MWh)
- **záložní zdroj** při slabé obnovitelné výrobě nebo při velmi vysoké spotřebě (při využití 5 % času vychází náklady okolo 260 €/MWh)

Záložní zdroje na využití pouhých 5 % času jsou pro fungující soustavu potřeba – i když se to může zdát nerozumné. Pomáhají totiž pokrýt výjimečně vysoké špičky spotřeby. V praxi na to stačí jednoduché a investičně levné zdroje (např. plynové turbíny, které jsou na jednotku výkonu 10–15× levnější postavit než jaderné elektrárny).

Cena emisní povolenky

S možným dalším růstem ceny emisní povolenky by také rostla výhodnost nízkoemisních zdrojů. Při zhruba dvojnásobné ceně povolenky oproti dnešní by náklady **výroby z hnědého uhlí** stouply o dalších 70 €/MWh.



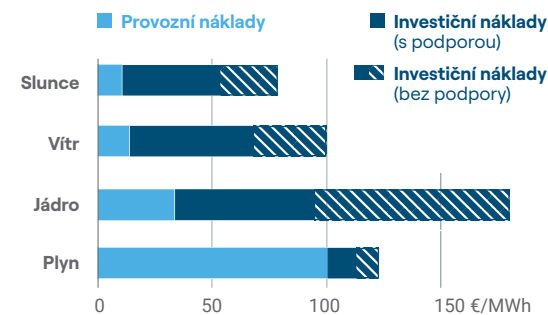
Zdroj dat: vlastní zpracování³⁷

Výše státní podpory

Investiční náklady zdroje jsou výrazně ovlivněny cenou kapitálu (zjednodušeně řečeno úrokovou sazbou při půjčce na investici). Vysoká cena je způsobena vysokým rizikem investice. Stát může toto riziko (a tedy i investiční náklady) snížit pomocí:

- **záruk budoucích příjmů** (např. nějakou formou provozní podpory, jako jsou tzv. *Contracts for Difference*)
- **státní půjčky nebo dotace** (tím stát sníží množství kapitálu, které musí investor sehnat na komerčním trhu).

Cena kapitálu nejvíc ovlivňuje zdroje, které se dlouho splácí – platí to například pro jaderné elektrárny. Právě u těchto zdrojů tedy státní podpora nejvíc snižuje také celkové náklady (viz graf níže).



Zdroj dat: vlastní zpracování³⁸

Dostupné ceny pod 100 €/MWh může výroba z jádra dosáhnout pouze se státní garancí a půjčkou (tak je tomu např. u plánovaného 5. bloku v Dukovanech). Takto velkoryse však stát nemůže podpořit výstavbu mnoha bloků najednou – a bez státní podpory mohou celkové náklady za MWh vystoupat na téměř dvojnásobek.

Podoba celého mixu výroby elektřiny

V Česku nelze postavit mix jen na levné solární energetice. Vedle proměnlivých zdrojů budou i nadále potřeba určité záložní zdroje (jejich množství by nicméně mělo být úměrné špičkové spotřebě). I tak ale platí, že slunce a vítr jsou cenově nejdostupnější – i při započítání nákladů na tyto záložní zdroje.

Cena elektřiny

Burza s elektřinou

Jak se stanovuje cena elektřiny na burze?

Burzu s elektřinou lze přirovnat k aukci. Cenu určuje tzv. zá- věrný zdroj, tedy **poslední elektrárna, kterou je potřeba vyu- žít pro pokrytí aktuální poptávky**. Při tvorbě ceny nezáleží na tom, kolik stála výstavba této elektrárny, ale na tom, jaké další náklady přinese výroba jedné další MWh elektřiny v daný okamžik. Když je například slunečno a větrno, je k dispozici velké množství levné elektřiny, protože výroba ze slunce a větru nepřináší další náklady. Pokud však právě nesvítí ani nefouká, je nutné spustit dražší zdroje, například plynové elektrárny. Jejich vyšší náklady na palivo a emisní povolenky pak aktuální cenu elektřiny zvednou pro všechny účastníky trhu. Takto se cena stanovuje zvlášť pro každou čtvrt hodinu během dne.

Jaký dopad na cenu elektřiny na burze má nízká cena výstavby solárních a větrných elektráren?

Žádný: cenu elektřiny na burze nesnižují investiční náklady solární a větrné výroby, ale jejich velmi nízké náklady pro- vozní. Když solární panely a větrné turbíny vyrábějí elektřinu, nemají žádné náklady na palivo. Jejich provozní náklady na výrobu elektřiny jsou tedy téměř nulové. Když je dostatek slunečního svitu a větru, mohou tyto zdroje nabízet elektřinu na burze za velmi nízké ceny, protože jim nevznikají žádné další náklady s každým vyrobeným MW. Právě tento faktor tlačí cenu elektřiny na burze dolů, zejména v obdobích s vy- sokou výrobou z obnovitelných zdrojů. Podobně ale cenu elektřiny na burze snižují i jaderné elektrárny, které mají o něco vyšší, ale stále velmi nízké provozní náklady (hlavně v podobě jaderného paliva). Naopak elektrárny spalující fosilní paliva (např. zemní plyn) mají vysoké provozní náklady, které jsou spojeny s nákupem paliva a emisních povolenek. To znamená, že jejich výroba je dražší a určuje cenu elektřiny v době, kdy obnovitelné zdroje nestačí.

Co by udělal vysoký podíl solární a větrné elek- třiny s cenou na burze během roku?

Nárůst proměnlivé solární a větrné výroby by mohl (spo- lu s rostoucí cenou emisních povolenek) vést k mnohem proměnlivější ceně elektřiny během dne i během roku. V případě vysoké výroby ze solárních a větrných zdrojů by byla velká nabídka (nadbytek elektřiny), která by tlačila ceny směrem k nule. Naopak při nízké výrobě z těchto zdrojů by nastupovaly dražší záložní zdroje (například plynové zdroje zatížené čím dál dražší emisní povolenkou), které by tlačily cenu elektřiny vzhůru – výrazně nad dnešní cenovou úro- veň. V létě by tak v poledne byla elektřina mnohem levnější než v noci. V zimě by naopak byla elektřina výrazně dražší v bezvětřném období než při vysoké větrné výrobě. Tato vy- soká proměnlivost cen by tvořila přirozený tržní tlak na větší flexibilitu energetického systému (viz *str. 58–str. 59*) a na rozvoj podpůrných technologií, jako jsou různé formy ukládání energie.

Jak mohou elektrárny na burze generovat zisk?

Provozní zisk každé elektrárny na burze určují zejména ob- dobí, kdy jsou potřeba dražší zdroje (odborně se tomu říká inframarginální zisk). Jestliže se elektřina na burze prodává za 100 €/MWh, je tato cena dána například drahou plynovou výrobou, která je právě potřeba. Solární elektrárny ale mají ve stejnou chvíli provozní náklady téměř nulové (slunce svítí zadarmo) a náklady starších jaderných elektráren jsou jen okolo 20 €/MWh (jaderné palivo a provoz jsou relativně lev- né). I když tyto elektrárny vyrábějí levněji, prodávají v danou chvíli svou elektřinu za stejných 100 €/MWh jako ta nejdražší elektrárna (v tomto případě plynová).

Inframarginální zisk je tedy rozdíl mezi tržní cenou a nižšími provozními náklady konkrétní elektrárny. Pro elektrárny je to příjem navíc, ze kterého mohou splácet své vysoké počáteční investice, případně je to pro ně čistý zisk.³⁹

Státní podpora

Proč dotovat solární a větrné zdroje, když jsou nejlevnější?

Hlavním důvodem státní podpory je snížení velkého inves- tičního rizika, které je s rychlou energetickou transformací spojeno. Nejde o dotaci v klasickém slova smyslu, kdy stát dává peníze na činnost, která se bez dotací ekonomicky nevyplatí. Dnešní podpora pro obnovitelné zdroje v Evropě funguje spíše jako „státní pojistka“, která výrazně snižuje pří- jmové riziko u obnovitelných projektů. Uzavírají se tzv. *Con- tracts for Difference* (CfD, v češtině někdy nazývané jako „smlouvy o vyrovnávacím režimu“), při kterých se dohodne referenční cena pro podporovaný projekt, např. 70 €/MWh. Pokud je prodejní cena elektřiny na burze nižší než tato re- ferenční cena, stát tento rozdíl výrobcí dorovná. Jestliže naopak cena elektřiny na burze stoupne, výrobce elektřiny vrací tento rozdíl státu. Tento režim tedy výrobcí zajišťuje předvídatelné zisky, což výrazně snižuje riziko projektu, zvy- šuje atraktivitu pro investory a celé projekty významně zlev- ňuje. Stát za to na oplátku získá jistý vliv na vývoj energetiky a na dekarbonizaci sektoru.⁴⁰ Je-li systém dobře nastaven, nemá s tím stát téměř žádné náklady.

Povedou dotace na výrobu ze slunce a větru k dalším velkým poplatkům na faktuře za elek- třinu?

Podpora zpravidla k vysokým poplatkům nepovede – sou- časná podpora formou Contracts for Difference (CfD) je totiž navržena tak, aby byla z dlouhodobého hlediska nákla- dově neutrální.⁴¹ Při dobře řízeném rozvoji energetiky proto nutnost vysokých poplatků za podporované zdroje může nastat jen v situaci, kdy by elektřina na burze byla extrémně levná. Levná silová složka by ovšem tyto vysoké poplatky kompenzovala, zákazníci by totiž v součtu stále platili málo.

Současná situace je už zcela jiná než v roce 2010, kdy byly solární elektrárny téměř 6× dražší než dnes, a jejich výstav- ba se bez velkých dotací neobešla. Problémem tehdejšího „solárního boomu“ také bylo, že byla dotační podpora na- stavena příliš štědře a chyběly mechanismy pro její korekci. Těmto historickým chybám, které vedly k desítkám miliard vyplacených dotací ročně, se dnešní CfD dražené v aukcích dobře vyhýbají.

K čemu je dobrý trh s elektřinou, když se všechny zdroje dotují?

Trh s elektřinou je nezbytný pro efektivní krátkodobé ří- zení výroby a spotřeby a pro co nejnižší krátkodobé ceny. A to i v situaci, kdy některé zdroje dostávají státní podporu. Burza je totiž primárně určena k rychlému vyrovnávání ak- tuální poptávky a nabídky a k efektivní alokaci výroby, nikoli k úhradě počátečních investic do nových zdrojů. Fungující trh s elektřinou tak zajišťuje nejnižší možné ceny za dodávky elektřiny a podporuje nákladovou efektivitu celého systému. Tento krátkodobý rozměr pak mohou doplňovat různé dlou- hodobé smlouvy jako např. *Contracts for Difference* pro ob- novitelné zdroje, které zajistí dostatečnou atraktivitu těchto zdrojů pro investory. Tyto dlouhodobé kontrakty jsou dnes už navrženy tak, aby nesnižovaly efektivitu krátkodobých trhů.

Draží se elektřina kvůli rozvoji sítí, který je pro dekarbonizaci nutný?

Náklady na rozvoj sítí je těžké předvídat. Může se proto stát, že kvůli tomuto rozvoji celková cena elektřiny mírně stoupne, protože náklady na rozvoj sítí mohou zvyšovat regulovanou složku ceny. Rozvoj elektrických sítí, zejména distribučních, je nicméně nezbytný pro elektrifikaci hospo- dářství i pro spolehlivou integraci obnovitelných zdrojů. Stá- vající síť nebyly původně navrženy pro decentralizovanou výrobu a obousměrné toky energie. V moderním energetic- kém systému jsou proto k zajištění stability a spolehlivosti dodávek nezbytné investice do chytrých sítí (tzv. smart grids), úložišť energie a posílení infrastruktury. Je těžké předvídat, k jak velkému zvýšení regulované složky ceny tyto investice mohou vést. Odhady jsou totiž zatíženy velkou nejistotou ohledně dalšího vývoje spotřeby elektřiny, potřebných inves- tic i cenové regulace. Je nicméně možné, že půjde o zvýšení výrazné, které může i převážit předpokládané snížení ceny elektřiny na burze – a celková cena elektřiny tak může oproti dnešku mírně stoupnout.

Poznámky ke kapitole

1 Odhady emisní intenzity vycházejí z výpočtů webové aplikace [Electricity Maps](#). [Dostupné online] za rok 2024.

2 Hodnota 100 TWh ročně je zatížena nejistotou vývoje celého hospodářství. Může to také být jen 90 TWh nebo až 110 TWh ročně – viz *s. 62–63. s. <?> <?> <?>*

3 Přestože náklady na výstavbu sítí mohou být značné, podle evropského modelování rozvoje sítí budou menší než úspory při výrobě elektřiny, viz např. ENTSOE. (2024). *Ten-Year Network Development Plan 2024*. [Dostupné online]. V propojené Evropě lze lépe využít levnou elektřinu, pokud právě někde hodně fouká vítr nebo svítí slunce.

4 U současnosti je ukázán průměr za roky 2018–2022, v souladu s daty v kapitole Přehled energetiky. Ilustrativní scénář téměř dekarbonizovaného světa, zde označovaný slovy možná budoucnost, je podrobněji popsán na *s. 60–63*. Z hlediska výroby elektřiny je to scénář budoucnosti, který je v zásadě dostupný pomocí současných technologií a je sestaven tak, aby co nejlépe splňoval kritéria uvedená na *70–71*. Část tohoto scénáře, která se týká výroby elektřiny, vychází z modelování zpracovaného pro studii Krčál, J., Kolouch Grabovský, M. a Příbyla, O. (2024). *Cesty k čistě a levné elektřině v roce 2050*. Fakta o klimatu. [Dostupné online].

5 Technický potenciál 70 TWh ročně (při zohlednění větrnosti a při vyloučení chráněných území a oblastí blízko sídel) odhaduje studie Hanslian, D. (2020). *Aktualizace potenciálu větrné energie v České republice z perspektivy roku 2020. Ústav fyziky atmosféry AV ČR* [Dostupné online]. Odhad realizovatelného potenciálu je nutně zatížen velkou nejistotou, protože záleží na přístupu veřejnosti. Údaj 20 TWh/rok zhruba odpovídá „optimistickému scénáři“ ve zmíněné studii. Údaj 30 TWh/rok zase více odpovídá už dnes realizované míře využití větrné energetiky v jižní Německu, které je geograficky a větrností podobné českému území.

6 Založeno na modelových výpočtech pro větrné podmínky ČR. Náklady na výstavbu větrných turbín vycházejí z odhadů IRENA, mírně zvýšených na základě informací od českého sektoru větrné energetiky. Tato cena nezohledňuje další náklady na integraci větrných zdrojů do sítě a vyrovnávání proměnlivé výroby. Cena 70 €/MWh platí při nízkém investičním riziku (např. pokud stát toto riziko sníží vhodnou formou podpory), cena 100 €/MWh platí při tržním investičním riziku. Více detailů k ekonomice zdrojů je na *s. 100–103*.

→ IRENA. (2024). *Renewable Power Generation Costs in 2023*. [Dostupné online]

7 National Renewable Energy Laboratory. (2013). *Wind LCA Harmonization*. [Dostupné online]. Jde o emisní faktor založený na rešerši a harmonizaci předchozích publikovaných odhadů pro pozemní větrné elektrárny. V publikaci uvedený rozsah 8–20 kg CO₂eq/MWh (25.–75. percentil ze škály odhadů) zvyšujeme o 20 % z důvodu nižšího koeficientu využití v českých podmínkách.

8 Přehled technologií pro recyklaci lopatek větrných elektráren dává např. článek Sorte, S., Martins, N., Oliveira, M. S. A., Vela, G. L. a Relvas, C. (2023). *Unlocking the Potential of Wind Turbine Blade Recycling: Assessing Techniques and Metrics for Sustainability*. *Energies*, 16(22), 7624. [Dostupné online]. Pro zjednodušený výpočet pro scénář možné budoucnosti v ČR lze předpokládat cca 2 000 turbín o výkonu 5 MW. Taková turbína má lopatky o váze asi 60 tun, tedy dohromady jde o 120 000 tun. Rozpočítáno na 25 let životnosti by to v průměru vedlo k cca 5 000 tun za rok, což je zhruba jedna setina procenta z celkových 39 mil. tun každoročně produkováného odpadu v ČR.

9 Kromě těch křemíkových existuje řada dalších technologií panelů, např. **tenkovrstvé** (nižší účinnost, vyšší cena, ale širší využití – např. jako poloprůhledné panely na skleněné fasády nebo jako ohebné panely na střechu aut), **s technologií heterojunction** (kombinace tenké vrstvy a klasického křemíku s vyšší účinností) nebo **bifaciální** (s články z obou stran, které tak využijí i odražené světlo).

10 Z hlediska území není solární energetika v Česku na rozdíl od větrné příliš limitovaná. Kdyby byl scénář této kapitoly realizován výhradně solárními parky, bylo by potřeba jen asi 0,6 % českého území, viz *Fakta o klimatu*. (2023). *Územní stopa elektřiny ze slunce, větru a biomasy*. [Dostupné online]. V praxi nejspíš půjde o kombinaci solárních parků a dalších instalací s dvojitým využitím území (např. ve formě střešní fotovoltaiky) – tedy ještě nižší celkovou územní stopou. Podstatnějším limitem nejspíš bude integrace proměnlivé výroby do sítě, viz *s. 82–95*. Horní limit 45 TWh je hrubý odhad, založený na modelování energetiky analytickým týmem Fakta o klimatu.

11 Založeno na modelových výpočtech pro podmínky ČR. Náklady na výstavbu solárních parků vycházejí z odhadů IRENA pro ČR. Tato cena nezohledňuje další náklady na integraci solárních zdrojů do sítě a vyrovnávání proměnlivé výroby. Cena 50 €/MWh platí při nízkém investičním riziku (např. pokud stát toto riziko sníží vhodnou formou podpory), cena 75 €/MWh platí při tržním investičním riziku. Více detailů k ekonomice zdrojů je na *s. 100–103*.

→ IRENA. (2024). *Renewable Power Generation Costs in 2023*. [Dostupné online]

12 IEA Photovoltaic Power Systems Programme. (2023). *Fact Sheet: Environmental Life Cycle Assessment of Electricity from PV Systems*. [Dostupné online]. V této publikaci je uvedeno 38 kg CO₂eq/MWh pro dnes nejběžnější mono-Si panely s životností 30 let a pro průměrné evropské podmínky globálního slunečního záření 1331 kWh/m². Po přepočtu na české záření okolo 1150 kWh/m² vycházejí celkové emise na cca 40 kg CO₂eq/MWh. Při použití méně efektivních poly-Si panelů a předpokladu životnosti jen 25 let by vyšly emise celého životního cyklu cca na 60 kg CO₂eq/MWh. Za posledních 10 let klesly měrné emise solární energetiky díky technologickým i výrobním inovacím zhruba na polovinu.

13 Přehled technologií pro recyklaci křemíkových panelů poskytuje např. Sajjan P. a Smith, S. T. (2024). *A comprehensive review on the recycling technology of silicon based photovoltaic solar panels: Challenges and future outlook*. *Journal of Cleaner Production*, 448(1), 141661–141661. [Dostupné online]. Pro zjednodušený výpočet pro scénář možné budoucnosti v ČR lze předpokládat cca 70 mil. panelů, každý o váze cca 25 kg. Rozpočítáno na 25 let životnosti by to v průměru vedlo k cca 70 000 tunám odpadu za rok, což jsou necelé dvě desetiny procenta z celkových 39 mil. tun každoročně produkováného odpadu v ČR.

14 V lokalitách Dukovany a Temelín může být zhruba dvojnásobný výkon oproti dnešním cca 4 GW. V Dukovanech je možné najednou provozovat 4 GW, v Temelíně až 4 GW velkých bloků a k tomu několik SMR reaktorů. Celkem by tak v Česku mohlo být minimálně cca 8,5 GW. Kromě toho se zvažuje výstavba SMR reaktorů v mnoha dalších lokalitách, např. na místě současných uhelných elektráren. Ty ale nejsou do uvedeného potenciálu zahrnuty kvůli vysoké míře nejistoty spojené s touto novou technologií (resp. povolvacími procesy a jadernou bezpečností).

15 Založeno na modelových výpočtech pro podmínky ČR. Jako náklady na výstavbu jaderných elektráren je uvažován průměr mezi poměrně nízkým odhadem Mezinárodní energetické agentury cca 6 000 €/2023/kW pro opakovanou výstavbu (*n-th of a kind*) a mnohem vyššími náklady

cca 12 500 €/2023/kW u současných evropských jaderných zdrojů ve výstavbě (jak spolu s dalšími detaily k ekonomice jaderných zdrojů uvádí studie Fakt o klimatu). Cena 100 €/MWh platí při nízkém investičním riziku zajištěném významnou státní podporou. Cena 180 €/MWh platí při tržním investičním riziku bez státní podpory. Pokud by se výstavba podařila výrazně levněji, mohla by cena elektřiny se státní podporou klesnout teoreticky až k 75 €/MWh. Naopak s prodraženou výstavbou by cena elektřiny bez státní podpory mohla vystoupat až nad 230 €/MWh.

→ International Energy Agency. (2024). *World Energy Outlook 2024*. [Dostupné online]

→ Krčál, J., Kolouch Grabovský, M. a Příbyla, O. (2024). *Cesty k čistě a levné elektřině v roce 2050*. Fakta o klimatu. [Dostupné online].

16 Warner, E. S. a Heath, G. A. (2012). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Nuclear Electricity Generation*. *Journal of Industrial Ecology*, 16: S73–S92. [Dostupné online]. Jde o emisní faktor založený na rešerši a harmonizaci předchozích publikovaných odhadů pro PWR reaktory, které se používají v ČR. Uvedený rozsah 10–30 kg CO₂eq/MWh zhruba odpovídá 25.–75. percentilu ze škály odhadů.

17 Mírně nižší výroba v letní polovině roku souvisí hlavně s plánovanými odstávkami na výměnu palivových bloků, údržbu apod. Tyto odstávky se typicky vyhýbají zimnímu období s vyšší spotřebou elektřiny.

18 Tvzení o historické výstavbě jaderných reaktorů jsou založena na datech ze dvou zdrojů:

→ Wikipedia contributors. (2025). *List of commercial nuclear reactors*. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Dostupné online]

→ World Nuclear Industry Status Report. (2025). *World Nuclear Power Reactors 1951–2025*. [Dostupné online].

19 Uvedené investiční náklady pro Hinkley Point C a Flamanville 3 jsou ve stálých cenách roku 2015. Jde o hodnoty založené na oficiálních tiskových zprávách EDF. U Olkiluoto 3 je situace složitější, protože výstavba skončila vleklým soudním sporem mezi investorem a dodavatelem a oficiální údaje o nákladech nejsou zveřejněny. Údaj vychází z odhadu World Nuclear Industry Status Report.

→ EDF. (2022). *Update on the Flamanville EPR*. [Dostupné online]

→ EDF. (2024). *Hinkley Point C Update*. [Dostupné online]

→ Schneider, M.A. Froggatt, A. (2019). *The World Nuclear Industry Status Report 2019*. [Dostupné online].

20 Možná budoucnost podle scénáře představeného na *s. 72–73*. Další alternativní scénáře jsou představeny na *s. 88–89*.

21 Průměr za roky 2018–2022. V roce 2024 byla výroba vyšší než 4 TWh (součet za velké i malé instalace).

22 European Commission. (2005). *The Net-Zero Industry Act*. [Dostupné online]

23 Založeno na společném evropském modelování optimálního rozvoje sítí v souladu s dekarbonizačními cíli EU (TYNDP 2024) a na údajích o současných instalacích solární a větrné energetiky z konce roku 2024 podle asociací SolarPower Europe a WindEurope.

→ ENTSO-E. (2024). *Ten-Year Network Development Plan 2024*. [Dostupné online]

→ SolarPower Europe. (2025). *Global Market Outlook for Solar Power 2025–2029*. [Dostupné online]

→ WindEurope. (2025). *Wind energy in Europe: 2024 Statistics and the outlook for 2025–2030*. [Dostupné online]

24 Tyto údaje vycházejí ze zprávy, která je součástí balíčku TYNDP 2024: → ENTSO-E. (2024). *European offshore network transmission infrastructure needs*. [Dostupné online].

25 Tyto alternativní scénáře jsou založeny na vlastním modelování Fakt o klimatu v rámci studie Krčál, J., Kolouch Grabovský, M. a Příbyla, O. (2024). *Cesty k čistě a levné elektřině v roce 2050*. Fakta o klimatu. [Dostupné online]. Jsou to jen tři vybrané scénáře z velkého množství možných alternativních scénářů. Kromě poměru základních pilířů se další scénáře mohou lišit různým podílem mezi importem a záložními zdroji. Stejně tak se mohou lišit konečnou spotřebou elektřiny (zde použitá hodnota 100 TWh ročně je zatížena nejistotou vývoje celého hospodářství, může to také být jen 90 TWh nebo až 110 TWh ročně) a další spotřebou elektřiny na výrobu centrálního tepla a nízkoemisního vodíku.

26 Jde o hodinovou výrobu podle scénáře možné budoucnosti. Instalované výkony větrných, solárních a jaderných elektráren podle tohoto scénáře jsou uvedené na *str. 72–73*. Zde ukázané příklady výroby při takových solárních a větrných instalacích vycházejí z reanalýzy historického počasí v ČR (konkrétně roku 2008). Spotřeba elektřiny odpovídá stupni elektrifikace ve scénáři možné budoucnosti (taktéž při počasí roku 2008).

27 Jde o zjednodušená ilustrativní schémata, v praxi bude efekt jednotlivých nástrojů menší, protože se často mohou kombinovat všechny najednou. Hodinová výroba větrných, solárních a jaderných zdrojů opět vychází ze scénáře možné budoucnosti, pro konkrétní vybrané dny (při počasí roku 2008).

28 Z dnešního pohledu panují určité nejistoty, nakolik bude výroba vodíku v budoucnu schopna flexibilně využívat přebytky elektřiny. S dnešními cenami technologií pro výrobu vodíku je ekonomicky důležité dosáhnout jejich vysokého využití (tedy vyrábět vodík výrazně častěji, než jen v období přebytků elektřiny v ČR). Kromě toho má časté zvyšování a snižování výroby podle dostupnosti nadbytků elektřiny negativní dopad na životnost technologie. Flexibilnímu využívání nadbytků elektřiny na výrobu vodíku také zčásti brání současná evropská legislativa. Dlouhodobá akumulace elektřiny je ale důležitou součástí systému výroby elektřiny, proto se jistě objeví snahy tyto překážky překonat.

29 Ekonomika závisí na četnosti nadbytků. Méně četné nadbytky vyžadují levnější a jednodušší nástroj (jinak by se nezaplátil). To může vést zhruba k následujícímu pořadí: ① **účinné procesy**, které vytvářejí vysokou hodnotu (jako krátkodobá akumulace na večer nebo na noc) nebo využití flexibility spotřeby v některých typech průmyslové výroby (což může být vysoce efektivní a současně investičně levné); ② **méně účinná dlouhodobější akumulace** energie s nižší hodnotou: např. investičně levnější a jednodušší akumulace tepla či chladu. Není zřejmé, kam se zařadí výroba nízkoemisního vodíku, to záleží na poptávce po vodíku, a tedy jeho ceně na trhu.

30 Platí, že téměř vždy někde v Evropě svítí slunce nebo fouká vítr. To sice neznamená, že v takové části Evropy právě musí být nadbytky obnovitelné výroby na export, nicméně obnovitelná výroba zde uvolňuje záložní zdroje, které pak mohou exportem pomoci zbytku Evropy. Jinými slovy: jednotlivé země EU nemusejí budovat své vlastní „ostrovní“ systémy, neboť v dobře propojené síti stačí mít v součtu méně záložních zdrojů. Proměnlivost obnovitelné výroby blíže ukazuje text Kolouch Grabovský, M. (2025). *Jak spolehlivě vyrábí v Česku solární a větrné zdroje?* Fakta o klimatu. [Dostupné online]

31 Zatímco nový jaderný zdroj může stát 6 000–9 000 €₂₀₂₃/kW nebo i více (viz pozn. ke s. 78–79), nejjednodušší plynové turbíny vyžadují dle odhadů Dánské energetické agentury investice cca 650 €₂₀₂₃/kW: [Dánská energetická agentura. \(2025\). *Technology Data for Generation of Electricity and District Heating*. \[Dostupné online\]](#)

32 Zatímco nový jaderný zdroj může stát 6000–9000 €₂₀₂₃/kW nebo i více (viz pozn. ke s. 78–79), nejjednodušší plynové turbíny vyžadují dle odhadů Dánské energetické agentury investice cca 650 €₂₀₂₃/kW:
→ [Danish Energy Agency. \(2025\). *Technology Data for Generation of Electricity and District Heating*. \[Dostupné online\]](#).

33 Ekonomika akumulačních a záložních zdrojů závisí na četnosti jejich využití. Pro časté využití se vyplatí složitá a efektivní elektrárna či akumulační zdroj, pro méně časté využití pak jednodušší a levnější technologie. To může (zjednodušeně) vést k následujícímu pořadí:
① **Krátkodobá akumulace a flexibilita spotřeby** – může podle scénáře možné budoucnosti použitého v této publikaci v Česku přiblížit výrobu spotřebě o několik GW (ve špičce až o 8 GW). ② **Záložní zdroje**, kterých Česko podle scénáře možné budoucnosti může potřebovat až 10 GW, což jsou teplárny (doplňkový zdroj elektřiny a tepla pro chladnější období s vyšší spotřebou) a záložní elektrárny (částečně dražší a účinnější paroplynové, částečně levnější špičkové plynové turbíny). ③ **Peak shaving** pro úzkou nejvyšší špičku spotřeby (dražší formy flexibility spotřeby či snížení průmyslové výroby).

34 Pojem LCOE (*levelized cost of electricity*) označuje celkové nebo také sdružené náklady na výrobu elektřiny. Ty do jednoho čísla zahrnují jak investiční, tak provozní náklady na výrobu elektřiny.

35 Moderní jaderné elektrárny se v Evropě v posledních 15 letech stavěly velmi málo, tedy odhady nákladů jsou nutně nepřesné.

36 Tyto orientační odhady jsou ve stálých cenách roku 2023 a vycházejí z rešerše dostupných odhadů nákladů od IEA a IRENA, mírně upravených pro české prostředí na základě informací ze sektoru. Počítají s cenou zemního plynu 37 €/MWh, cenou hnědého uhlí 6 €/MWh, cenou emisních povolenek 70 €/t a koeficientem využití 50 % u uhelných a paroplynových elektráren. Dále počítají se srovnatelnou státní podporou v podobě reálné sazby WACC (weighted average cost of capital) ve výši 4 %.

→ [International Energy Agency. \(2024\). *World Energy Outlook 2024*. \[Dostupné online\]](#)

→ [IRENA. \(2024\). *Renewable Power Generation Costs in 2023*. \[Dostupné online\]](#)

37 Pro výpočet jsou použity stejné parametry jako pro graf na stránce vlevo. Cena emisních povolenek 70 €/t zhruba odpovídá průměrné ceně na trhu za rok 2024. Dvojnásobnou cenu 140 €/t (ve stálých cenách roku 2024) očekává poradenská společnost BloombergNEF okolo roku 2035.

→ [BloombergNEF. \(2024\). *EU ETS Market Outlook 1H 2024: Prices Valley Before Rally*. \[Dostupné online\]](#)

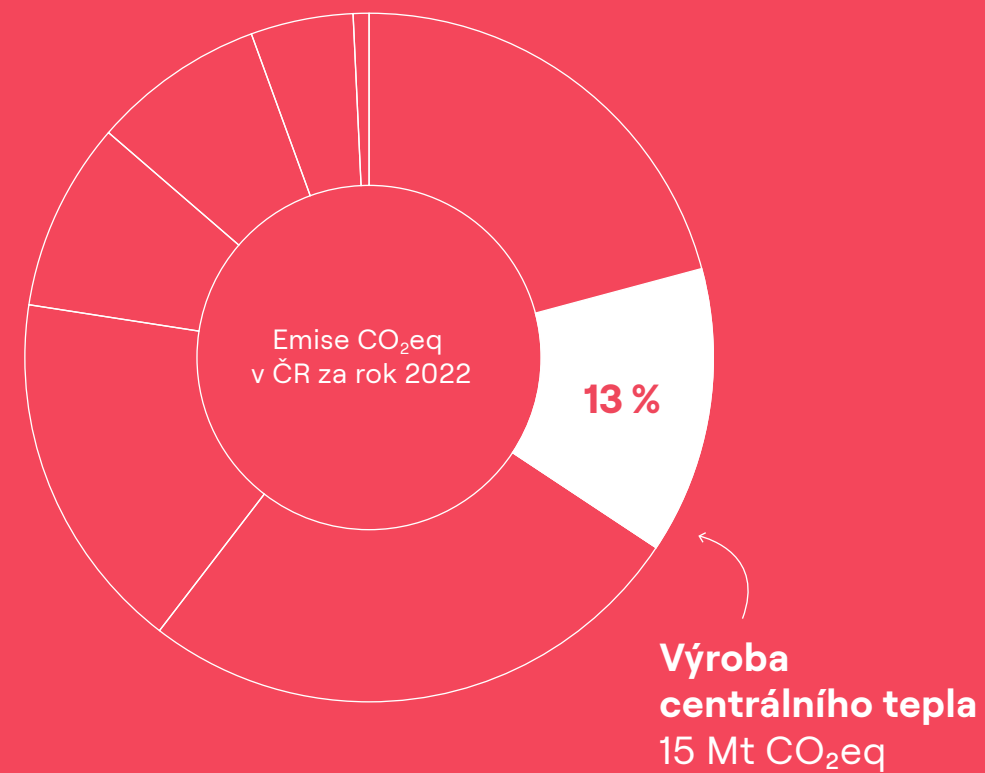
38 Pro výpočet jsou opět použity stejné parametry jako pro graf na stránce vlevo. Varianta bez státní podpory je pro srovnatelnost u všech zdrojů simulována stejně, použitím vyšší 9% reálné sazby WACC.

39 Složitější je tento mechanismus u provozně dražších zdrojů (např. plynových elektráren), protože ty jsou často tím nejdražším zdrojem, který je právě potřeba, a málokdy proto dosahují inframarginálního zisku. Provozní zisk u těchto zdrojů tak může být příliš nízký a navíc špatně předvídatelný, což odrazuje investory. Řiditelné záložní zdroje

jsou ale pro spolehlivé fungování soustavy nutné. V mnoha evropských zemích tento problém řeší státní podpora za dostupný říditelný výkon (tedy fixní každoroční platby pro provozovatele těchto zdrojů, většinou přidělované formou aukcí).

40 Stát také pomocí CfD získá systematický zdroj příjmů v případě nějakého dalšího cenového šoku na trhu s elektřinou (při plynové krizi v roce 2022 místo toho Česko zavádělo ad hoc řešení v podobě tzv. *windfall tax*). Z těchto příjmů pak může stát ulevovat firmám i domácnostem zasaženým vysokými cenami elektřiny.

41 Příklad veřejné podpory, která zhoršuje fungování trhu, je provozní podpora pro obnovitelnou výrobu formou zeleného bonusu, který se vyplácí neohledně na situaci na trhu, tedy i když je velký přebytek elektřiny. Taková podpora pak v těchto chvílích nemotivuje obnovitelné výrobce řešit přebytky elektřiny (např. snížením výroby) a zvyšuje náklady na vyvážení sítě. Současně CfD kontrakty už tímto neduhem netrpí.



Výroba centrálního tepla

Dekarbonizace výroby centrálního tepla v ČR

Přibližně jedna čtvrtina veškerého tepla v Česku se vyrábí v tepelnárnách, odkud se dálkově dodává do budov a průmyslu. V současnosti se většina tohoto tepla vyrábí z uhlí, čímž vzniká velké množství emisí skleníkových plynů. Tato kapitola popisuje možnosti dekarbonizace tohoto sektoru.

PROBLÉM

Vysoké emise z výroby centrálního tepla

Centrální teplo se v ČR vyrábí ve stovkách tepláren často v tzv. kogeneraci společně s elektřinou, dnes **hlavně z uhlí** a v menší míře ze zemního plynu a biomasy. Jde asi o 40 TWh ročně (zhruba čtvrtina veškeré výroby tepla v ČR).¹ Pomocí potrubí zpravidla na horkou vodu se toto teplo **dodává dálkově** do obytných budov i průmyslových podniků², které se nacházejí v okolí teplárny (ve vzdálenosti kilometrů až desítek kilometrů). Dodávky centrálního tepla mají v Česku významnou roli, zásobují cca 40 % obytných budov.

Převažující výroba centrálního tepla z uhlí znamená, že sektor dnes produkuje **asi 13 % všech emisí skleníkových plynů ČR**. Ty lze proměnou sektoru (při použití dnes dostupných technologií – viz pravou stranu) **snížit o 95 % i více**.

Při výrobě tepla z uhlí se kromě emisí skleníkových plynů uvolňují také další znečišťující látky s dopady na zdraví populace. Náhrada uhlí za jiný zdroj tak přinese významné zlepšení i z hlediska čistoty ovzduší.

A co lokální teplo?

Většina tepla (cca tři čtvrtiny, 110 TWh) se v Česku za rok vyrobí lokálně – v domácích kotlech, průmyslových pecích apod. Stále jde hlavně o spalování paliv (zemního plynu, uhlí, biomasy), postupně však přibývá také výroby tepelnými čerpadly (pomocí tepla okolního prostředí a elektřiny).³

Lokálnímu teple v sektoru **budov** se věnuje kapitola *Budovy* (s. 169–182), v sektoru **průmyslu** jej popisuje kapitola *Průmysl* (s. 125–144).

ŘEŠENÍ

Část energie lze modernizací uspořit

Díky tomu pak nebude potřeba vyrábět centrálního tepla tolik. Úspor je možné dosáhnout:

- u **spotřebitelů** – hlavně díky energetickým renovacím budov (viz *str. 174–175*)
- při **rozvodu tepla** – renovací a snižováním teploty v rozvodech (viz s. 120–121)
- při **výrobě tepla** (viz níže)

Lze využít chytré řízené hybridní teplárny

Velká část tepláren může v budoucnu vyrábět z více různých zdrojů a jejich výroba může být zároveň chytré řízena – bez zbytečných ztrát energie a s co nejnižšími náklady. Více o hybridních teplárnách je na s. 116–117.

pojem *hybridní teplárny* zde označuje kombinaci tepelných čerpadel a dalších obnovitelných zdrojů, akumulace tepla a tradičních spalovacích zdrojů v jedné teplárenské soustavě

Mohou využívat tepelná čerpadla a zdroje tepla „zdarma“

Značnou část tepla může Česko v budoucnu vyrábět ne z fosilních paliv, ale pomocí elektřiny. Konkrétně pomocí velkých tepelných čerpadel využívajících teplo okolního prostředí (ze vzduchu, podzemních vrtů či vody v řekách), odpadní teplo (z odpadních vod, průmyslu, datových center, chlazených hal apod.) nebo geotermální teplo z hlubších vrtů.

Další podrobnosti jsou na s. 118–119.

Účinné využití tepelných čerpadel ovšem stojí na snižování teploty vody v rozvodech, tedy vyžaduje energetickou renovaci části budov (viz s. 120–121). Renovace tak mohou mít dvojitý přínos: sníží celkovou spotřebu tepla a zároveň umožní využít v teplárenství nové, úspornější technologie.

Mohou využívat zařízení na akumulaci tepla

V teplárnách by bylo možné využívat jedno-
duchá zařízení pro akumulaci velkého objemu tepla v podobě horké vody. Díky chytrému řízení by pak šlo vyrobit velké množství tepla z velmi levné elektřiny (v časech jejího nadbytku při velmi slunečném nebo větrném počasí) a toto teplo akumulovat na později. K výrobě mohou posloužit zmíněná tepelná čerpadla či ještě mnohem jednodušší a levnější elektrokotle.

Mohou využívat různé druhy paliv

Kromě výroby tepla z čisté elektřiny a akumulace přebytků tepla budou i v budoucím teplárenství stále důležité kogenerační a záložní zdroje spalující paliva. Hodit se budou zejména v době, kdy je málo elektřiny z obnovitelných zdrojů, a v mrazivých obdobích, kdy je spotřeba tepla nejvyšší.

Kromě paliv využívaných už dnes (např. biomasa či zbytkový komunální odpad) mohou hrát roli i nové formy čistých paliv jako biometan.

Umožní propojení výroby tepla s výrobou elektřiny (tzv. sector coupling, viz další stranu a s. 59).

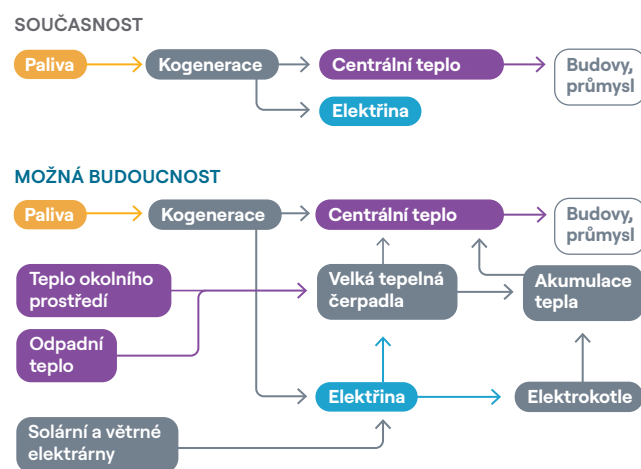
Proč je centrální teplo v dekarbonizaci výhodou

Vysoký podíl centrálního tepla má Česko především z historických důvodů. Není nutné úplně všechny současné soustavy centrálního vytápění v Česku udržet v provozu i do budoucna, přesto lze v dekarbonizaci na vysokém podílu centrálního tepla stavět.⁴

Teplárny mohou pomáhat vyvažovat elektrickou síť

Možnou budoucí větší provázanost výroby tepla a elektřiny (tzv. sector coupling) ukazuje zjednodušené schéma vpravo. Díky ní a díky možnosti teplo akumulovat by mohly systémy centrálního tepla pomoci lépe vyvažovat **výkyvy ve výrobě a spotřebě elektřiny**:

- při **přebytku elektřiny** mohou teplárny zvýšit spotřebu tepelných čerpadel nebo elektrokotlů a část nadbytečného tepla akumulovat
- při **nedostatku elektřiny** mohou teplárny z paliv v kogeneraci vyrábět teplo a současně s tím i elektřinu.



Teplárny mohou vyrábět teplo více způsoby a s vyšší účinností

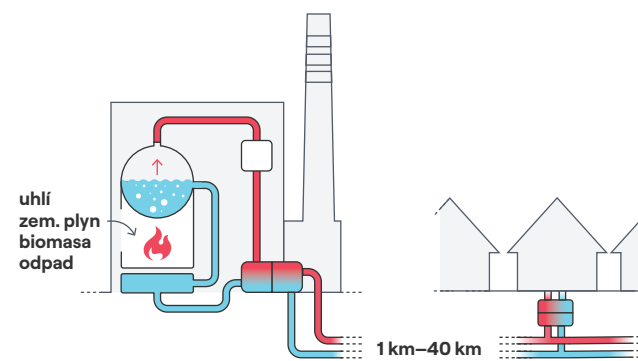
Velká tepelná čerpadla v teplárnách mohou účinně využívat řadu různých **zdrojů** – odpadní teplo, teplo z čistíren odpadních vod, z řek, z mělkých geotermálních vrtů apod. Tyto zdroje mají stabilnější teplotu i v mrazivých dnech a právě díky tomu jsou velká tepelná čerpadla účinnější než malá čerpadla lokální, která většinou čerpají teplo ze vzduchu.

Teplárny také mohou využít **širší škálu paliv** než lokální zdroje: komunální odpad, biomasu, bioplyn a biometan (a v budoucnu možná také nízkoe emisní vodík).

I při započítání ztrát v dálkovém rozvodu tepla může být centrální zásobování teplem v praxi účinnější než individuální vytápění.

Jak systémy centrálního tepla fungují

Teplo se vyrobí v teplárně a zpravidla ve formě horké vody se potrubím rozvádí do okolních obytných a průmyslových budov. U spotřebitele se předává výměníkem do oddělené otopné soustavy a zpět do teplárny se pak vrací chladnější voda.



V Česku se centrální teplo vyrábí ve stovkách oddělených soustav. Rozvod tepla má totiž na rozdíl od elektřiny omezený dosah: potrubí vede maximálně několik desítek kilometrů – se vzdáleností rostou tepelné ztráty. Mít jen jednu propojenou soustavu pro celou zemi proto technicky nedává smysl.

Výroba tepla často probíhá v kogeneraci spolu s elektřinou. Více v kapitole *Výroba elektřiny* (s. 67–107).

Jednotlivé soustavy se navzájem velmi liší – dodávají totiž teplo o různé teplotě. To je jednak dáno historicky (stavem rozvodů – viz s. 120) a jednak tím, že průmysl potřebuje jiné teploty než např. domácnosti:

- na vytápění a ohřev teplé vody v **budovách** stačí dodávky vody o teplotě 60–90 °C (podle úspornosti budov),
- pro **průmyslové procesy** je často potřeba pára o teplotě 150–500 °C (vysoké teploty jsou třeba např. pro rafinaci ropy a chemický průmysl, více na s. 130–131).

S tím souvisí i možnosti dekarbonizace: soustavy dodávající páru o vysoké teplotě mají omezenější možnosti (nelze je tak snadno elektrifikovat jako soustavy, které dodávají jen teplo do budov).

Kromě tepla lze centrálně vyrábět a dálkově dodávat i chlad (ve formě studené vody, např. na chlazení velkých budov, obchodních center nebo areálů nemocnic). V Česku je zatím centrální zásobování chladem zcela okrajové, s postupující změnou klimatu ale může nabývat na důležitosti.

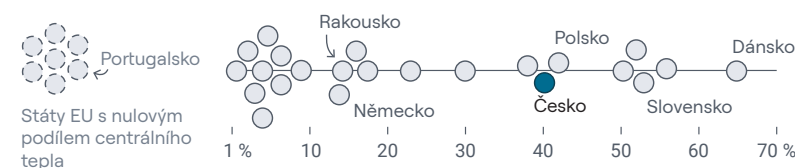
Jak velký je potenciál pro další růst výroby centrálního tepla v Česku

Tento potenciál je velmi **omezený**. Z ekonomického hlediska je totiž pro teplárnu důležitá vysoká hustota zástavby (tedy odběru tepla) a značná část potenciálu takto husté zástavby je dnes v Česku pro centrální teplo už využita. Nový odběr centrálního tepla či chladu tedy přichází v úvahu hlavně v nových městských čtvrtích. Naopak energetické renovace

budov a teplejší klima pravděpodobně budou spotřebu centrálního tepla v budoucnu snižovat.

Na rozdíl od některých zemí EU, které řeší významné rozšiřování soustav centrálního tepla, v Česku se diskutuje spíše o **udržení a dekarbonizaci většiny stávajících soustav**.

ČESKO MÁ V EVROPSKÉM SROVNÁNÍ VYSOKÝ PODÍL CENTRÁLNÍHO TEPLA, PODÍL BYTŮ PŘIPOJENÝCH NA CENTRÁLNÍ TEPLA JE DOKONCE 40 %



Zdroj dat: Projekt WEDISTRICT, District Heating and Cooling Stock at EU level

Jak se v Česku vyrábí centrální teplo

Naprostou většinu dnešní výroby tvoří spalování paliv, především fosilních. Další zdroje jsou jen okrajové.

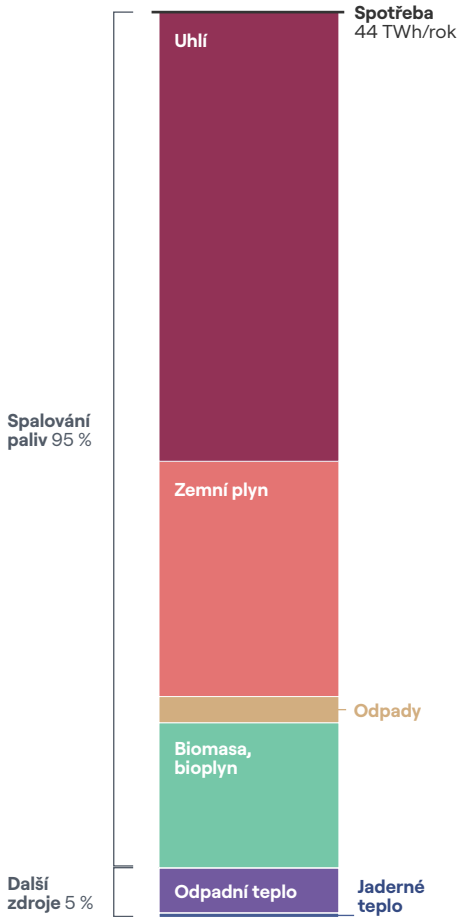
95 % výroby tepla je ze spalování paliv

Téměř veškeré centrální teplo se dnes vyrábí **spalováním paliv**: zejména **fosilních (uhlí a zemní plyn⁶)** a v menší míře také **biomasy a bioplynu**, či zbytkového **odpadu**.

Podle plánů tepláren by mělo zhruba do roku 2030 dojít k výrazné proměně mixu výroby: většina současných uhelných zdrojů by měla být nahrazena novými účinnými zdroji na zemní plyn.

Další zdroje pokrývají 5 % výroby

Jde hlavně o **odpadní teplo** z průmyslových procesů a **jaderné teplo** (z elektrárny Temelín pro České Budějovice a Týn nad Vltavou). Jak ukazuje graf, tyto zdroje dnes hrají jen malou roli.



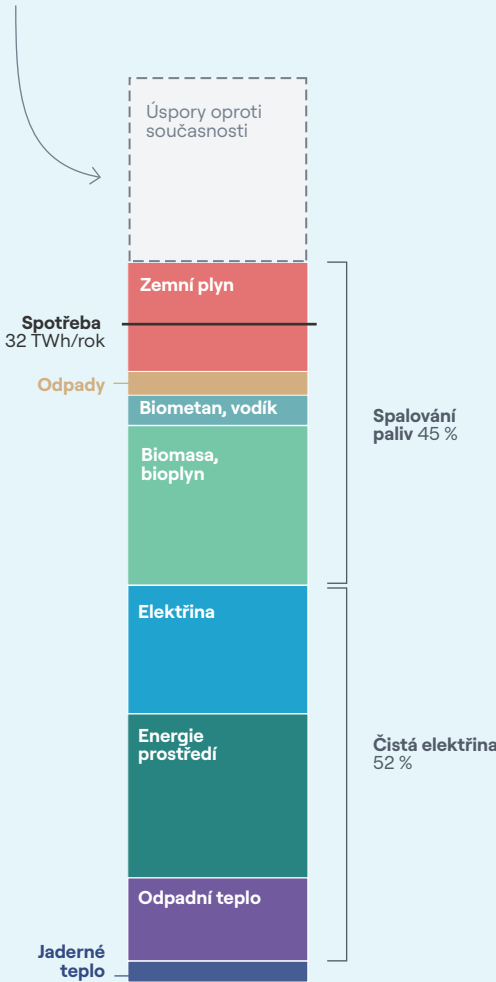
Zdroj dat: ERÚ, Roční zpráva o provozu teplárenských soustav České republiky 2022 (průměr za roky 2018–2022)⁶.

Jak by se mohlo vyrábět?

Spalování paliv by mohlo v budoucnu hrát mnohem menší roli. Více než polovinu výroby by mohly zajistit zdroje využívající elektřinu.

Část energie lze ušpóřit

Díky renovacím může dojít k významným **energetickým úsporám** – tepla by pak stačilo vyrobit méně. Úspor je možné dosáhnout při rozvodu tepla (viz s. 120–121) i při jeho spotřebě (renovace budov, viz str. 174–175).⁷



Zdroj dat: vlastní zpracování (ilustrativní scénář možné budoucnosti)⁸

Lze chytře využít hybridní teplárny

Ty mohou v jedné soustavě chytře kombinovat konvenční zdroje, výrobu tepla pomocí elektřiny i jeho akumulaci.

Spalování paliv: necelých 50 % výroby

I v budoucnu pravděpodobně budou paliva stále důležitá:
→ **jako doplněk** pro mrazivá období s nejvyšší spotřebou,
→ **jako zdroj pro kogeneraci** tepla a elektřiny během období drahé elektřiny, kdy dost nefouká vítr a nesvítí slunce (což také může pomáhat vyvažovat elektrickou síť).

Paliva by ale mohla v budoucnu hrát výrazně menší roli než dnes, z větší části navíc mohou být bezemisní.

Pomocí nízkoemisní elektřiny: přes 50 % výroby

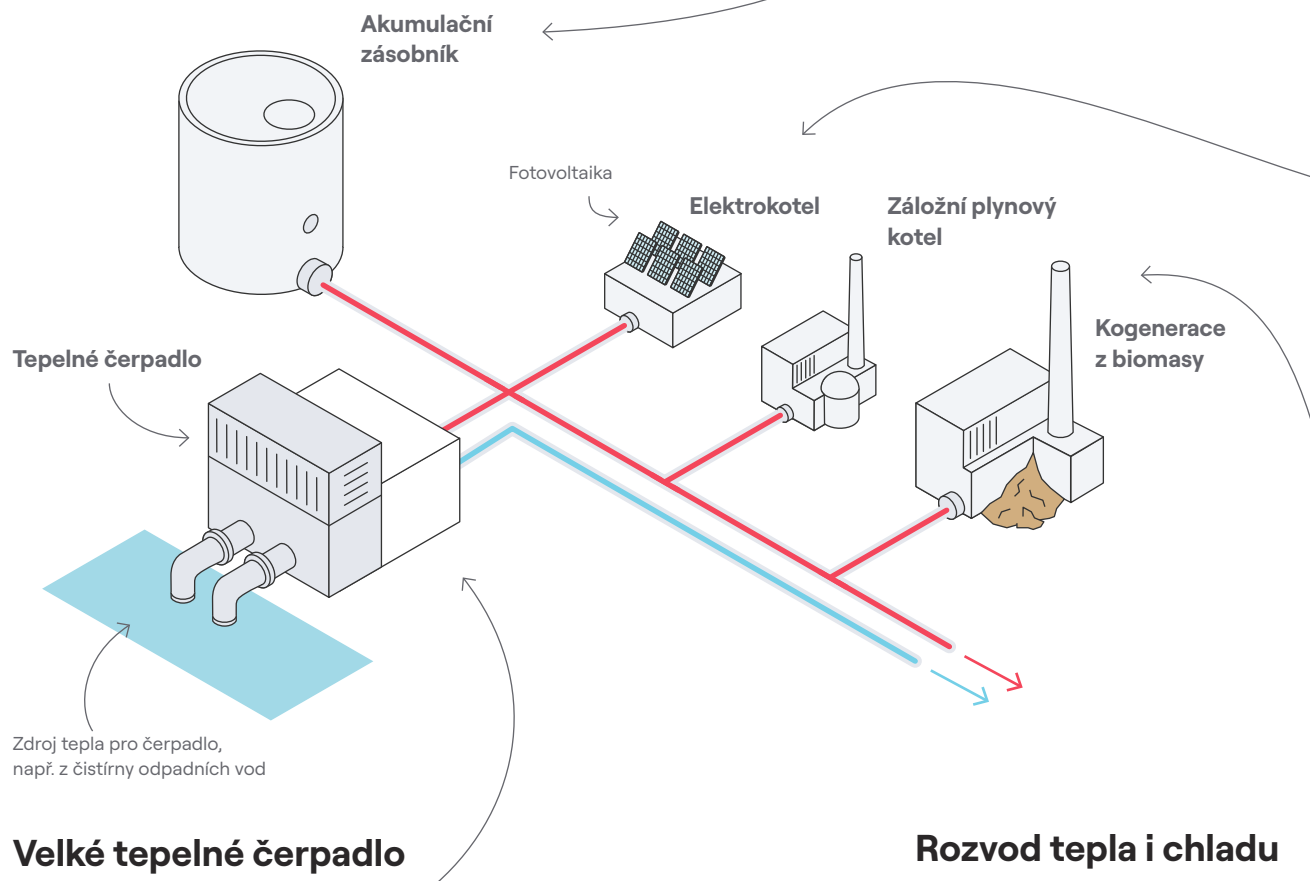
Více než polovinu výroby tepla mohou v budoucnu zajistit zdroje založené na **elektřině** (zejména pak v časech, kdy bude elektřina za nižší cenu). Jde zejména o **tepelná čerpadla** využívající **energii okolního prostředí** a **odpadní teplo** a **elektrokotle** využívající přebytky obnovitelné elektřiny (např. solární poledních hodinách).

Teplo vyrobené pomocí elektřiny je také možné akumulovat pro pozdější využití v rámci dne nebo týdne, ale i v rámci sezóny (např. solární výrobu z konce léta akumulovat na zimu). Bez podstatné akumulace tepla by v českých podmínkách nešlo vyrábět 50 % centrálního tepla pomocí elektřiny (při vysoké spotřebě v zimě totiž podle současných výhledů bude často levné elektřiny nedostatek).

Hybridní teplárna a její možnosti

V závislosti na místních podmínkách může kombinovat různé zdroje tepla a různé technologie a využívat jejich výhod. Zároveň dokáže optimalizovat svůj provoz tak, aby byl ekologický, energeticky účinný a vyplatil se.

Hybridní teplárna může kombinovat výrobu tepla pomocí elektřiny (zejm. tepelnými čerpadly) a paliv jako biomasa, zemní plyn či biometan. Dokáže využít období levné elektřiny a současně na ní není závislá. Pro některé teplárny nicméně může být i v budoucnu nejvýhodnější využívat pouze jediný zdroj tepla.⁹



To dokáže vyrábět teplo velmi účinně a levně (pokud má teplotně stálý zdroj na vstupu a elektřina je v dané chvíli relativně levná).

Tepelná čerpadla v teplárenství blíže popisují s. 118–119.

Zdroj dat: vlastní zpracování¹⁰

Akumulace tepla

Akumulace tepla je zásadní pro flexibilitu výroby a tím i pro ekonomicky optimální provoz.

Akumulace díky **elektrokotlům** umožňuje uložit nárazové vysoké přebytky solární elektřiny v síti ve formě tepla. Stejně tak umožňuje akumulovat část tepla vyrobeného **tepelnými čerpadly**. Ty tak mohou při příznivé ceně elektřiny vyrábět více tepla, než v dané chvíli zákazníci teplárny odebírají (např. při nízké spotřebě mimo topnou sezónu).

Teplo (ve formě vody těsně pod bodem varu) vydrží při dobré izolaci akumulované velmi dlouho. Díky tomu jej lze využít i za řadu **dní** nebo **týdnů**. Akumulace velkého objemu tepla je technologicky výrazně jednodušší a tak i levnější než akumulace elektřiny (viz příklady vpravo).

Využití solární elektřiny

Elektrokotle jsou jednoduchá a levná technologie, která dokáže efektivně vyrobit teplo z nadbytků solární elektřiny během poledních hodin. Toto teplo lze poté akumulovat v zásobníku na pozdější dobu.

Využitím nadbytků solární elektřiny tak může teplárna pomáhat s vyrovnáváním elektrické sítě (viz str. 92). Kromě toho může mít teplárna i vlastní solární panely ve svém areálu (příp. vlastní fototermické panely, které vyrábí přímo teplo).

Spalování paliva

To umožňuje vyrábět dostatek tepla v **období drahé elektřiny**, což je stejně jako akumulace důležité pro flexibilitu výroby a tím i pro ekonomicky optimální provoz.

Může jít o technologicky složitější spalování různých forem **biomasy** (sláma, štěpka apod.), vhodné pro relativně stálý provoz v chladnějších měsících. Nebo může jít o flexibilnější **plynové kogenerační jednotky** či nejjednodušší záložní **plynové kotle**, jež mohou pružně doplňovat ostatní zdroje a pomáhat pokrýt spotřebu v nejmrazivějších dnech roku.

PŘÍKLADY TECHNOLOGIÍ AKUMULACE TEPLA



Nadzemní zásobník s vodou

Jednoduchá a prostorově úsporná technologie s nízkými tepelnými ztrátami. Větší zásobníky tohoto typu v Evropě pojmu až **několik GWh tepla**. Pro srovnání: horní nádrž elektrárny Dlouhé Stráně uloží cca 3 GWh elektřiny.



Hloubená nádrž s vodou

Objem v řádu desítek tisíc až milionů m³ uloží **jednotky až stovky GWh tepla**. Technicky je to poměrně jednoduché zařízení s malými ztrátami tepla. Vyžaduje ale spoustu prostoru, což je leckde v Česku problém. Dnes se používá hlavně ve Skandinávii.



Vrtaný zásobník tepla

Pole několika set vrtů do hloubky 50–150 m může poskytnout kapacitu **až desítek GWh tepla**. Oproti zásobníkům nebo nádržím je to složitější a dražší technologie podobná geotermální, s vyšší ztrátou tepla. Vyžaduje ale málo prostoru, který pak lze zastavět.

KTERÁ PALIVA MŮŽE V BUDOUCNU HYBRIDNÍ TEPLÁRNA VYUŽÍVAT?

Hlavním palivem pro teplárny v dalších letech bude **zemní plyn**, který nahradí emisně náročné uhlí. Zčásti se bude využívat i zbytkový **odpad** a **biomasa**.

Později může emise ze spalování zemního plynu snížit hlavně nižší využívání paliv v hybridních teplárnách a také náhrada jiným plyným palivem či využití technologie na zachytávání uhlíku (CCS):



Biometan

Uhlíkové neutrální palivo vyráběné z odpadní organické hmoty. Má stejné vlastnosti jako zemní plyn, a proto lze pro jeho přepravu a spalování využít stejná zařízení. Dnes se jej v ČR vyrábí málo, potenciál je o něco vyšší, ale omezený.



Nízkoe emisní vodík

Potenciální alternativní palivo, které lze spalovat v turbínách na zemní plyn (ty však musí být tzv. hydrogen-ready). Dnes se jej ve světě vyrábí málo, jeho budoucí využití v teplárenství je velmi nejasné, závisí na jeho ceně a dostupnosti a také na infrastruktuře potřebné pro jeho transport a skladování.



Zemní plyn v kombinaci s CCS

Technologie CCS může snížit přímé emise CO₂ ze spalování až o 85–95 %, není však dnes zralá a jsou s ní spojeny vysoké investice a další provozní náklady. Navíc vyžaduje vybudování infrastruktury pro transport, ukládání či využití uhlíku.

Tepelné čerpadlo v teplárenství

Tepelná čerpadla jsou efektivní technologií na výrobu centrálního tepla, podobně jako je tomu u lokálního vytápění (viz s. 178–179 v kapitole Budovy). Stejně jako rodinným domům mohou tak i teplárnám významně snížit spotřebu paliv a emise CO₂.

Jak funguje?

Čerpadlo pomocí elektřiny přesouvá teplo z okolního prostředí do rozvodů dálkového vytápění. Pracuje se změnou tlaku a změnami skupenství speciálního chladiva a díky

tomu dodává ve formě tepla i 3–4× více energie, než kolik jí spotřebuje. Princip fungování u malých lokálních čerpadel a velkých čerpadel v teplárenství je stejný.

Výparník

Chladivo se ohřívá **teplem z okolí** a vypařuje se.

Chladivo musí mít takové fyzikální vlastnosti, aby se vypařovalo při nízké teplotě. Při vypařování absorbuje obrovské množství tepelné energie z chladného zdroje tepla z okolí (jde o tzv. latentní teplo změny skupenství).

Kompresor

Stlačením se plyn prudce zahřeje.

Rychlé stlačení plynu obecně zvyšuje jeho teplotu. Především v této fázi čerpadlo spotřebovává elektřinu, která se přeměňuje na další teplo.

Kondenzátor

Horký plyn předává teplo vodě a mění se na kapalinu.

Jde o běžný tepelný výměník, kde stlačený plyn postupně chladne až kondenzuje zpět na kapalinu. Přitom se opět uvolňuje obrovské množství latentního tepla změny skupenství a toto teplo se dále předává do vody na výstupu.

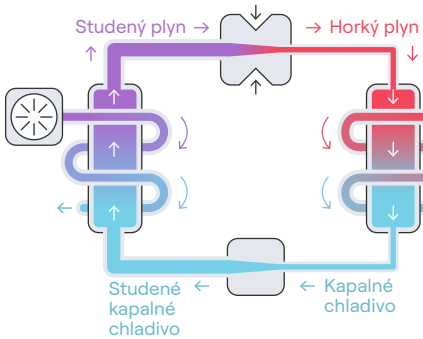
Rozvody centrálního tepla

Výstup ohřáté vody (70–95 °C)

Přívod studené vody (30–50 °C)

Teplo z okolí

Na rozdíl od malých lokálních čerpadel lze v teplárenství využít též různé zdroje, které i v zimě mají stálou teplotu okolo 10 °C. Může jít třeba o teplejší vodu z čističky odpadních vod nebo teplo z podzemních vrtů.



Uzavření cyklu

Chladivo o nízké teplotě a tlaku opět vstupuje do výparníku

Změna skupenství je klíčová pro předávání velkého množství tepelné energie. To může fungovat jen díky změnám tlaku – za nízkého tlaku se chladivo vypařuje při nízké teplotě z okolí na vstupu, za vysokého tlaku zpět kondenzuje při vysoké teplotě výstupní ohřáté vody.

Expanzní ventil

Je to opačné než u kompresoru – rychlé snížení tlaku plynu snižuje i jeho teplotu. Elektřina zde není potřeba.

1× spotřeba energie ve formě elektřiny



3–4× zisk energie ve formě tepla

POTENCIÁL V ČR

8–15 TWh/rok¹¹

Tepelná čerpadla by v budoucnu mohla vyrobit čtvrtinu až polovinu centrálního tepla v ČR. Záleží na míře renovací budov, rekonstrukcích rozvodů a využití akumulace tepla.

ŽIVOTNOST

25–30 let¹²

Řada komponent čerpadla má delší životnost, k prodloužení provozu proto může stačit výměna kompresoru.

ÚČINNOST

250–450 %

Pomocí 1 kWh elektřiny získá čerpadlo díky teplu okolního prostředí 2,5–4,5 kWh tepla (podle technologie a rozdílu teplot). Za poslední desetiletí vývoje se účinnost výrazně zvýšila. Naproti tomu plynové kotle a elektrokotle mají účinnost nanejvýš okolo 100 %.

Jak zajistit vysokou účinnost?

Účinnost čerpadla je tím vyšší, čím je menší rozdíl mezi vstupní teplotou tepla z okolí a výstupní teplotou ohřivané vody (tím méně práce totiž musí udělat kompresor pomocí

elektřiny). Z hlediska účinnosti tedy jde především o to zajistit **co nejvyšší teplotu okolí na vstupu** do čerpadla a **co nejnižší teplotu výstupní teplé vody**.



Zajistit co nejvyšší teplotu na vstupu (hlavně v mrazivých dnech)

V těchto dnech, kdy je potřeba nejvíce vytápět, je nejlepší využívat zdroje se stabilní teplotou (viz níže). Hybridní teplárny také mohou při nejnižších teplotách využívat jiné zdroje a tím se vyhnout nízké účinnosti.

Možné zdroje tepla pro tepelná čerpadla v teplárenství¹⁴

nejvyšší teplota v zimě – nejvýhodnější pro účinnost

nejnižší teplota v zimě = nejméně výhodné pro účinnost

Odpadní teplo

Teplo ze spalín, průmyslu, chlazení skladů či datacenter může být vhodné, pokud je blízko teplárny.

Geotermální teplo

hluboké vrty
V hloubce 2–3 km je teplota 80–90 °C. Vrty jsou ale drahé a rizikové, vhodné podmínky nejsou všude.

Odpadní vody

z čistíren
Čistírny vypouštějí teplejší vodu, než je v řece (v zimě cca 10–15 °C). Tuto vodu je snadné využít.

Zemní teplo

mělčí vrty
V hloubce 150–400 m je teplota mezi 8–20 °C, v 1000 m až 50 °C. S nižší teplotou je třeba více vrtů a větší pozemek.

Teplo z řeky

či nádrže
Teplota vody v některých řekách či vodních nádržích v zimě klesá jen k 5–10 °C.

Vzduch

V ČR má v zimě okolo 0 °C, může klesat až k -20 °C. Lze jej ale technicky snadno a levně využít.



Snížit teplotu vody v teplárenských rozvodech

V teplárenství souvisí teplota na výstupu s typem rozvodů a s teplotou, kterou požadují zákazníci. Kde není dostatečné snížení teploty na výstupu možné, lze použít dražší kaskádová tepelná čerpadla.

Možnostem snižování teploty v rozvodech centrálního tepla se věnují s. 120–121.



Zapojit více čerpadel za sebou (kaskádová čerpadla)

Tím lze dosáhnout dobrého topného faktoru i při velkém rozdílu teplot na vstupu a výstupu. Například při zapojení dvou čerpadel zvýší první z nich teplotu na střední úroveň, druhé pak na požadovanou výstupní teplotu.¹³ Výhodné je to také u procesního tepla v průmyslu, kde mohou čerpadla dosahovat teplot nad 100 °C.

Postupný přechod na rozvody s nízkou teplotou

Teplárenství v Česku má stále hodně rozvodů s vysokou teplotou.¹⁵

To jednak znamená značné teplotní ztráty a jednak to teplárnám komplikuje využití efektivních zdrojů, jako jsou tepelná čerpadla. Součástí dekarbonizace sektoru výroby tepla je proto také snižování teploty v rozvodech, což někde může vyžadovat jejich kompletní rekonstrukci, jinde mohou stačit jen dílčí zásahy.

Přínosy modernizovaných rozvodů s nižšími teplotami (50–90 °C)

Rozvodné sítě tzv. čtvrté nebo třetí generace – čím nižší teploty v rozvodech, tím vyšší přínosy.

V rozvodech se ztratí méně tepla

To má svůj fyzikální důvod: menší rozdíl mezi teplotou média a teplotou okolí způsobuje nižší ztráty. Souvisí to ale i s technologickým pokrokem – u nových rozvodů je kvalitnější izolace.

Je možné účinně využít tepelná čerpadla

Nižší teplota umožňuje využití zdrojů tepla o nízké teplotě pomocí tepelných čerpadel (viz *s. 118*) i přímo (solární kolektory, hluboké geotermální vrty). Také akumulace velkého objemu tepla je do 95 °C technicky snazší.

Soustavu lze chytře řídit a digitalizovat

V rámci modernizace je možné rozvody doplnit o chytré řízení (nehledě na snižování teplot).¹⁶ Provoz pak lze optimalizovat pomocí senzorů pro sběr dat o teplotách, tlacích a průtocích v síti a také díky automatizovanému řízení čerpadel a ventilů. Dodávky tepla lze lépe řídit díky prediktivním modelům spotřeby.

Přechod na nižší teplotu rozvodů je koordinačně náročný

Změna celé soustavy je výrazně složitější než renovace lokálního vytápění v jedné budově.¹⁸ Vyžaduje strategické plánování a koordinaci řady různých aktérů, včetně odběratelů tepla. Může totiž zahrnovat zásahy do mnoha budov odebírajících teplo a někde i jejich hlubší energetickou renovaci.

Vyžaduje dlouhodobou strategii a finanční podporu

Rekonstrukce rozvodů a rozvoj soustavy směrem k využití nízkoteplotních zdrojů trvá dlouho. Plánovat a úspěšně realizovat to lze jen v prostředí se stabilní strategií, regulací a podporou.

Zahrnuje koordinaci rozdílných aktérů

Jde o vlastníky rozvodů, zdrojů tepla, pozemků, další infrastruktury a také všech odběrných míst. Ti mají často protichůdné motivace, proto může být obtížné se na změnách dohodnout.

Neobejde se bez renovace budov

Aby mohla být teplota v rozvodech významně snížena, musí na to být připravena velká většina budov, které jsou do soustavy připojeny.

Např. pro rozvody s teplotou 70 °C to u budov s nízkým energetickým standardem znamená:

- zvýšit jejich energetický standard zhruba na třídu D
- nebo v nich provést další pomocné zásahy, jako je zvýšení rychlosti průtoku teplé vody, výměna topných těles za větší, izolace rozvodů tepla a teplé vody nebo instalace doplňkového zdroje tepla.

Renovacím se více věnuje kapitola Budovy na s. 174–175.

HISTORICKÝ VÝVOJ ROZVODNÝCH SÍTÍ

Pět generací: v posledních 130 letech se teplota v rozvodech postupně snižuje

V systémech centrálního tepla v Evropě tak došlo ke značnému zvýšení energetické účinnosti.

1. GENERACE

Parní sítě

Zhruba do druhé světové války se budovaly parní rozvody s teplotami až 240 °C a nízkou účinností. Teplo se vyrábělo hlavně v uhelných teplárnách.

2. GENERACE

Horkovodní sítě

Někdy od 50. let se začaly prosazovat mnohem efektivnější horkovodní sítě (typicky s teplotami 120–130 °C). Stále založené zejména na fosilních zdrojích.

3. GENERACE

Rozvody 80–90 °C

Ještě účinnější systémy se v Evropě začaly budovat po ropných šocích na konci 70. let, zejm. ve Skandinávii. Postupně přibývá též využití biomasy, fototermiky a geotermálního tepla.

4. GENERACE

Rozvody 50–70 °C

Pojem definován až v roce 2014. Tento typ rozvodů se postupně prosazuje hlavně ve Skandinávii. Umožňuje efektivní využití řady moderních technologií (viz výše).

5. GENERACE¹⁷

Lokální čerpadla

Experimentální koncept s rozvody vody o teplotě 10–25 °C (vstupní médium pro lokální tepelná čerpadla využívaná k vytápění i chlazení). V Evropě na desítkách lokalit, v ČR se zatím nikde neplánuje.

Poznámky ke kapitole

1 Ve statistikách o centrálním teple se typicky jako jednotky používají jouly (J). Tato publikace pro srovnatelnost s dalšími sektory a nosiči energie používá terawaththodiny (TWh). Všechny údaje o současné výrobě centrálního (a lokálního) tepla v této kapitole jsou založeny na datech od ERÚ a na datech energetických bilancí od Eurostatu. V souladu s kapitolou *Přehled energetiky (s. 39–65)* jde i zde o průměr za roky 2018–2022. Toto zprůměrování snižuje zkreslení dat v jednotlivých letech způsobené energetickou krizí a pandemií covid-19. Průměr za 5 let na druhou stranu zakrývá trend postupného odchodu od uhlí, jehož podíl postupně klesá (v roce 2024 to bylo dle ERÚ jen cca 40 % výroby tepla brutto).

- [Energetický regulační úřad. \(2023\). Roční zpráva o provozu teplárenských soustav České republiky 2022. \[Dostupné online\]](#)
- [Eurostat. Complete energy balances \(nrg_bal_c\). European Commission. \[Dostupné online\]](#)

2 Někdy je teplárna ve vlastnictví průmyslového podniku a nachází se přímo v jeho areálu. V takovém případě „dálkovou“ dodávku tepla do vlastního podniku zajišťují rozvody třeba jen na vzdálenost 500 metrů. Kromě toho tyto podnikové teplárny typicky dodávají teplo také do blízkého města nebo do okolních průmyslových podniků. V energetické bilanci (s. 48–49) se jako centrální teplo udává jen teplo dodávané externím zákazníkům. Výroba tepla (např. z uhlí) do vlastního podniku se zahrnuje do konečné spotřeby paliv v průmyslu (pro srovnání: ERÚ toto vykazuje jako „vlastní spotřebu tepla“).

3 V energetické bilanci (s. 48–49) se výroba lokálního tepla skrývá v konečné spotřebě energie. V současnosti jde hlavně o konečnou spotřebu paliv, jako např. zemního plynu, v menší míře i konečnou spotřebu elektřiny a tepla okolního prostředí (tepelnými čerpadly).

4 Ve vybraných lokalitách může být ekonomicky výhodnější vytápění částečně nebo plně decentralizovat. Většinou ale bude výhodnější soustavu udržet – jednoduše chybí smysluplná alternativa. Ve větších městech by totiž elektrifikace vytápění jednotlivých budov (po rozpadu soustavy) snadno mohla narazit na limity distribuční sítě s elektřinou – na lokální vytápění všech budov zkrátka může chybět dostatečná kapacita drátů a transformátorů.

5 Kategorie „plyn“ v grafu zahrnuje kromě zemního plynu také další plyny fosilního původu, které vznikají v průmyslu, např. vysokopecní nebo koksárenský plyn.

6 Graf ukazuje celkovou brutto výrobu centrálního tepla v TWh (pro srovnatelnost s dalšími kapitolami publikace). Tento údaj zahrnuje i výrobu pro vlastní spotřebu a také na pokrytí technologické vlastní spotřeby a ztrát při rozvodu. Vlastní spotřeba se týká průmyslových tepláren, které část vyrobeného tepla dodávají do vlastního areálu. Zde udávaná výroba a spotřeba je tak vyšší než podle energetických bilancí (s. 48–49), kde je vlastní spotřeba tepla v průmyslu zahrnuta v konečné spotřebě průmyslu.

7 K dalšímu snížení výroby by mohlo dojít v případě proměny struktury českého průmyslu, kde by byl nižší podíl energeticky náročných procesů. V grafu je výroba tepla o 2,5 TWh/rok vyšší než jeho spotřeba, tento rozdíl ve scénáři možné budoucnosti pokrývají ztráty při akumulaci tepla.

8 Ilustrativní scénář téměř dekarbonizovaného světa, který je v této publikaci označen jako možná budoucnost, je celkově podrobněji popsán na s. 60–63. V grafu uvedená výroba 32 TWh tepla za rok předpokládá i v budoucnu odběr části tepla na vlastní spotřebu průmyslu. Teplárny tak do konečné spotřeby energie podle scénáře dodají 22 TWh tepla za rok, což je polovina celkové předpokládané konečné spotřeby tepla (zbytek tepla v tomto scénáři pochází hlavně z energie

okolního prostředí – z tepelných čerpadel využívaných v lokálním vytápění). Scénář možné budoucnosti v sektoru teplárenství staví na technologiích, které jsou dostupné už dnes. Datově je inspirován třemi existujícími scénáři: modelováním do roku 2050 zpracovaným pro vládní strategii výzkumným projektem SEEPIA, analýzou do roku 2040 zpracovanou týmem Teplárenského sdružení ČR a modelováním do roku 2050 zpracovaným organizací Institute for Sustainable Futures (viz zdroje níže). Podrobné modelování stovek jednotlivých teplárenských soustav (což je nad rámec možností a záměrů této publikace) by mohlo vést k mírně odlišnému celkovému scénáři. Celkové směřování k elektrifikaci a hybridním teplárnám je ale patrné. V budoucnu by mohly v českém teplárenství hrát roli i malé modulární reaktory (SMR, viz s. 78–79), pro velkou technologickou, regulační i ekonomickou nejistotu s nimi ale scénář možné budoucnosti nepočítá.

→ [Ministerstvo průmyslu a obchodu. \(2024\). Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. \[Dostupné online\]](#)

→ [Hájek, M., Vecka, J., \(2024\). Potenciál využití nízkoteplotních zdrojů tepla v soustavách zásobování tepelnou energií \(SZTE\) v ČR. Teplárenské sdružení České republiky. \[Dostupné online\]](#)

→ [Greenpeace Česká republika a Hnutí DUHA. \(2021\). Energetická revoluce: Jak zajistit elektřinu, teplo a dopravu bez fosilních paliv. \[Dostupné online\]](#)

9 Velmi záleží na místních podmínkách konkrétní teplárny – jakou sadu technologií z této ilustrace v budoucnu využije. Např. v malých soustavách může být nejvýhodnější, aby teplo vyráběl jen jediný zdroj (ať už pomocí paliv nebo elektřiny). Větší soustavy už dnes kombinují více zdrojů tepla, velmi málo ale využívají výrobu pomocí elektřiny.

10 Směřování k elektrifikaci, akumulaci tepla a hybridním teplárnám je v souladu s tím, co uvádí české i světové zdroje (viz níže).

→ [Hájek, M. a Vecka, J., \(2024\). Potenciál využití nízkoteplotních zdrojů tepla v soustavách zásobování tepelnou energií \(SZTE\) v ČR. Teplárenské sdružení České republiky. \[Dostupné online\]](#)

→ [Hájek, M. a Vecka, J., \(2025\). Ekonomické hodnocení využití tepelného čerpadla v rámci soustavy zásobování teplem. Teplárenské sdružení České republiky.](#)

→ [Valentová, M., Knápek, J., Kubín, A. a Vašíček, J. \(2022\). Dekarbonizace teplárenství: strategický, regulační a technologicko-ekonomický rámec v České republice. ČVUT v Praze. \[Dostupné online\]](#)

→ [Knápek, J., Valentová, M., Krejcar, R., Vašíček, J. a Vecka, J. \(2021\) Klimaticko-energetické investice v teplárenství 2014–2030. ČVUT v Praze. \[Dostupné online\]](#)

→ [Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E., Hvelplund, F. a Vad Mathiesen, B. \(2014\). 4th Generation District Heating \(4GDH\). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. \[Dostupné online\]](#)

→ [Volt, J., Roca Reina, J.C., Toleikyte, A., Mountraki, A., Letout, S., Wegener, M. a Black, C. \(2024\). Smart Thermal Networks in the European Union. European Commission, Joint Research Centre. \[Dostupné online\]](#)

→ [Kavvadias, K., Jimenez Navarro, J. a Thomassen, G. \(2019\). Decarbonising the EU heating sector: Integration of the power and heating sector. European Commission, Joint Research Centre. \[Dostupné online\]](#)

11 Potenciál okolo 7 TWh/rok pro rok 2040 udává studie Teplárenského sdružení. Výrobu přes 15 TWh/rok v roce 2050 udává dekarbonizační scénář ze státní strategie od Ministerstva průmyslu a obchodu (obojí viz pozn. č. 8).

12 Životnost vysokoteplotních velkých tepelných čerpadel v rozsahu 20–35 let (se střední hodnotou okolo 24 let) udává např. zdroj:

→ [Heat Pumping Technologies \(IEA Technology Collaboration Programme\). \(2023\). Annex 58, High-Temperature Heat Pumps, Task 1 – Technologies. \[Dostupné online\]](#)

13 Např. při teplotě 10 °C na vstupu a 90 °C na výstupu klesá u klasického čerpadla topný faktor až k 2–2,5, zatímco dvoustupňové čerpadlo může dosáhnout faktoru 3–3,5.

14 Přehled zdrojů tepla je založen na studii Teplárenského sdružení (viz poznámka č. 8). Teploty dosažitelné pomocí geotermální technologie vycházejí z map České geologické služby:

→ [Dědeček P., Šafanda J., Uxa, T., Holeček J., Burda J., Dudková I., Kachlíková R., Paleček M., Klož, M. a Holečková P. \(2022\). Mapy potenciálu geotermální energie v různých hloubkových úrovních a mapy střetů zájmů na území ČR. \[Dostupné online\].](#)

Schéma obsahuje určitá zjednodušení: nejteplejší zdroje odpadního tepla nebo z hlubokých geotermálních vrtů mohou dosahovat tak vysokých teplot, že další zvyšování teploty pomocí tepelných čerpadel už nemusí být potřeba. Ne všechny řeky a nádrže jsou ale jako zdroj tepla vhodné. Pokud totiž teplota vody v zimě klesá blízko k 0 °C, nelze už čerpadlo dobře využít, protože by docházelo k zamrzání tepelného výměníku.

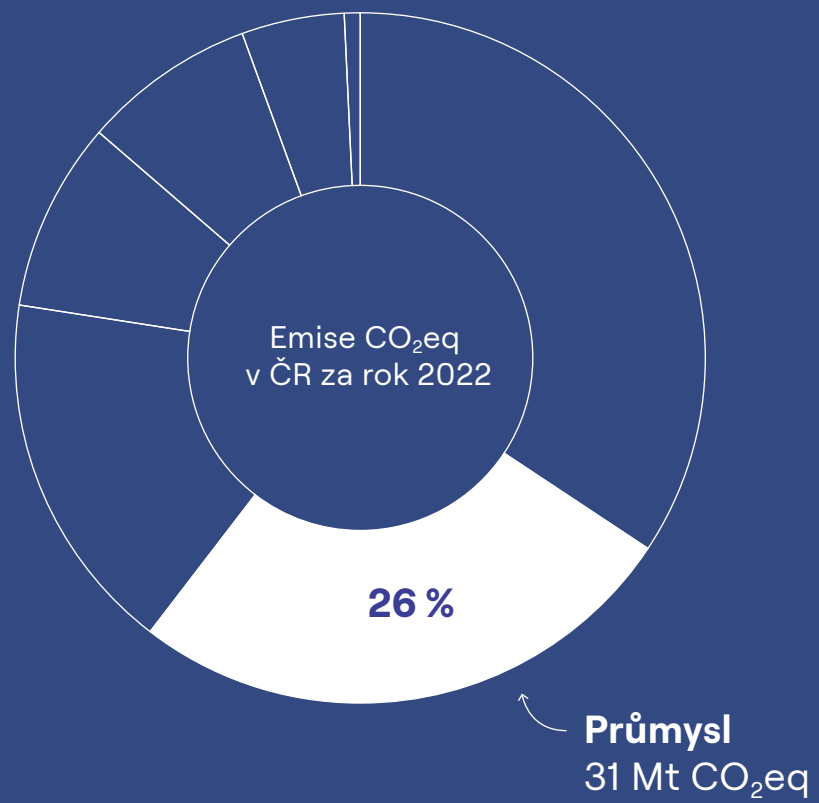
15 Jde o cca 3000 km horkovodních rozvodů s vodou často nad 120 °C (kde ke snížení teploty mohou stačit dílčí zásahy) a také cca 1000 km parních rozvodů (kde snížení teploty nutně vyžaduje kompletní rekonstrukci rozvodů). Je ovšem žádoucí ponechat ty parní rozvody, které vedou do průmyslových podniků vyžadujících páru o vysoké teplotě a tlaku pro své výrobní procesy.

16 Chytré řízení lze využít i v rozvodech s vysokou teplotou. Může to dokonce být první krok ke snižování teplot, protože díky chytrému řízení se může ukázat, že je možné částečně snížit teploty, aniž by byly nutné rekonstrukce rozvodů či změny u odběratelů tepla.

17 Označení této technologie jako 5. generace se sice v literatuře používá, ale je do určité míry zavádějící. Nejde totiž o technologii, která technicky překonává 4. generaci. Jde spíše o alternativní přístup, který naplňuje podobné cíle jako 4. generace a oproti ní má své výhody i nevýhody. V budoucnu tak budou pravděpodobně vznikat sítě 4. i 5. generace (tyto technologie mohou koexistovat). Srovnání sítí 4. a 5. generace rozebírá např. článek:

→ [Lund, H., Alberg Østergaard, P., Nielsen, T. B., Werner, S., Thorsen, J. E., Gudmundsson, O., Arabkoohsar, A. a Vad Mathiesen, B. \(2021\) Perspectives on fourth and fifth generation district heating. \[Dostupné online\].](#)

18 Text o rozvodech s nízkou teplotou vychází ze standardní světové literatury i z českých studií (viz pozn. č. 10), které podrobně popisují bariéry přechodu na nižší teploty v ČR.



Průmysl

Dekarbonizace průmyslu v ČR

Průmysl zahrnuje mnoho různých odvětví¹ – od potravinářství přes výrobu oceli a strojů až po rafinaci ropy. Každé odvětví má jiné vstupní suroviny i dodavatelské řetězce. Tím se průmysl liší od ostatních sektorů ekonomiky a velké rozdíly mezi jednotlivými odvětvími se promítají i do možností dekarbonizace průmyslu: někde bude relativně snadná, jinde náročnější.

PROBLÉM

Kde vznikají emise v českém průmyslu

Odvětví náročná na dekarbonizaci

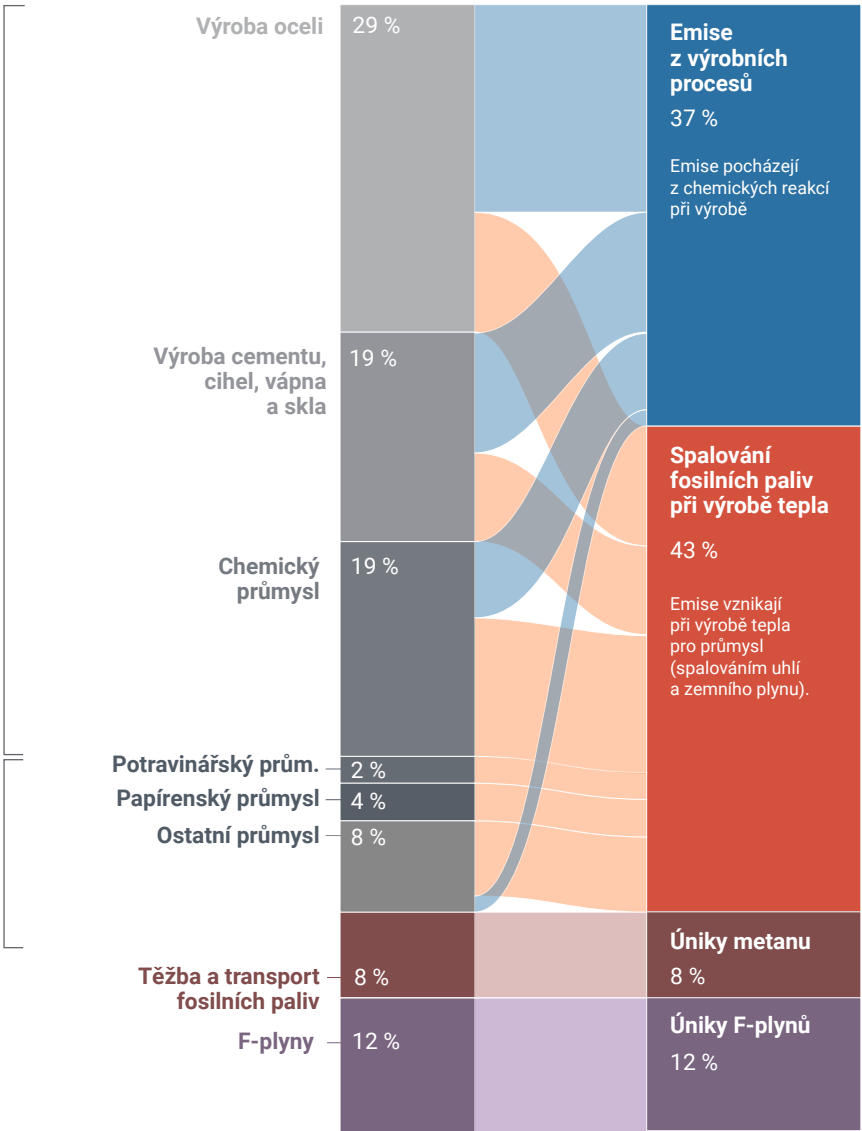
Výroba řady základních surovin je emisně velmi intenzivní. Dekarbonizovat tyto tzv. **hard-to-abate sektory** je technicky i finančně obtížné.

Při výrobě těchto surovin vzniká v Česku přes 65 % průmyslových emisí, přestože jejich podíl na českém HDP je jen asi 4 %. Zároveň jsou však produkty těchto odvětví klíčové pro navazující výrobu.

Více o jednotlivých odvětvích náročných na dekarbonizaci na s. 132–137.

Odvětví snadnější na dekarbonizaci

Potravinářství, papírenství, strojírenství a další zpracovatelský průmysl mají nízkou emisní intenzitu a jejich dekarbonizace je výrazně snazší. Tato odvětví mají zároveň nepoměrně vyšší podíl na českém HDP (17 %), i když zde vzniká jen 12 % emisí z průmyslu.



Zdroj dat: ČHMÚ, Národní inventarizační dokument 2024 (data za rok 2022) a vlastní zpracování²

ŘEŠENÍ

Jak lze tyto emise snižovat?

Emise z výrobních procesů

- Lze přejít na nové výrobní postupy, které CO₂ nevytvářejí – např. k redukci železné rudy používat místo koksu **vodík**.
- Není-li nízkoemisní alternativa dostupná, pak jediným řešením je vznikající CO₂ zachytávat a ukládat pomocí **technologie CCS**.

Nízkoemisní vodík a technologie CCS jsou dvě zásadní technologie pro procesní emise v průmyslu, více na s. page 138–141.

Spalování fosilních paliv při výrobě tepla

- **Elektrifikace pomocí tepelných čerpadel** je efektivní při vytápění průmyslových budov a u nízkoteplotních procesů (do 200 °C).
- **Elektrifikace pomocí dalších technologií** je v některých případech možná i pro vysokoteplotní výrobu (např. obloukové pece na ocel nebo pece na keramiku).
- **Využití nízkoemisních paliv** jako biomasa nebo nízkoemisní vodík je další alternativou na výrobu tepla.

Kromě toho je vhodné emise snižovat i úsporami energie a využitím odpadního tepla, jež vzniká při některých výrobních procesech.

Více o výrobě tepla pro průmysl je na s. 130–131.

Další emise zařazené do průmyslu

Úniky metanu při těžbě uhlí a transportu zemního plynu – většina přirozeně vymizí s koncem těžby uhlí a přechodem na čistou energetiku.

F-plyny jsou velmi silné skleníkové plyny, používané zejména v chladicích zařízeních a klimatizacích. Tyto plyny unikají do atmosféry (během životnosti těchto zařízení i později), lze je však nahradit alternativními chladivy, jež přispívají ke skleníkovému efektu podstatně méně.

- D Změny paliv a technologických postupů
- E Zachytávání a ukládání CO₂

- A Energetické úspory
- B Elektrifikace
- D Změny paliv a technologických postupů

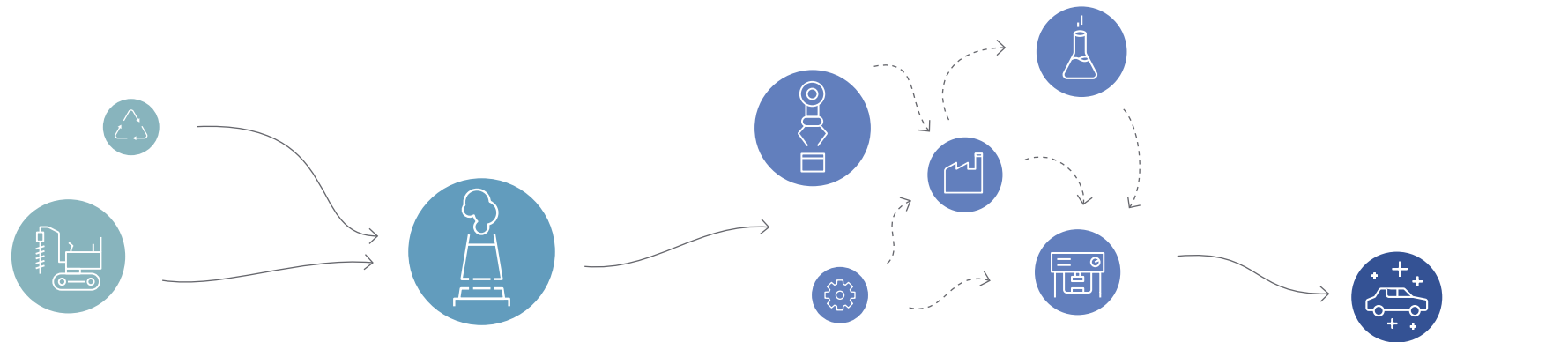
K ŘEŠENÍ MOHOU PŘÍSPĚT

F Změny spotřebních vzorců

Dekarbonizaci může usnadnit také nižší poptávka po materiálech díky recyklaci, opětovnému použití či delší životnosti výrobků.

Dekarbonizace průmyslu promění dodavatelské řetězce

Provázanost a vzájemná závislost dodavatelů a odběratelů znamená, že dekarbonizace jednoho článku v řetězci může mít zásadní dopady na ostatní. Dekarbonizace celého řetězce tak vyžaduje koordinaci všech zúčastněných stran.



Těžba (a recyklace)

Získávání základních surovin jako železná ruda, vápenec, uhlí či bauxit, často s lokálními dopady v místě těžby.

Nízké emise skleníkových plynů
cca 1% podíl na HDP

Nízké marže, většinu nákladů tvoří poplatky za těžbu a investice do těžebních strojů a linek v úpravách.

V těchto fázích nebude mít dekarbonizace podstatné dopady na poptávku, neboť suroviny jako ocel i cement budou nadále potřeba. Budou však potřeba značné investice do nízkoemisních výrobních technologií (např. elektrické obloukové pece či technologie na zachytávání uhlíku). Pro provoz s nízkými maržemi jsou takové investice velkou výzvou a představují značné riziko.

Prvotní zpracování

Přeměna vytěžených surovin na základní průmyslové materiály (např. výroba cementu či tavení železné rudy ve vysokých pecích).

Vysoké emise skleníkových plynů
cca 5% podíl na HDP

Nízké marže, většinu nákladů tvoří paliva, vstupní suroviny a emisní povolenky.

Další zpracování a kompletace

Výroba a obrábění komponent (např. lisování plechů a trubek, výroba ozubených kol či lisování plastových součástek) a jejich kompletace v hotové výrobky. V této fázi je často v řetězci řada navazujících dodavatelů a odběratelů.

Nízké emise skleníkových plynů
cca 23% podíl na HDP³

Vyšší přidaná hodnota a marže. Většina nákladů jsou mzdy, nákup komponent a investice do výrobních technologií.

V této fázi může mít dekarbonizace podstatný vliv na poptávku. Zatímco pro některé firmy, jako jsou výrobci baterií nebo tepelných čerpadel, povede k růstu poptávky, pro jiné může vést k zásadnímu poklesu poptávky, nebo dokonce jejímu zániku (např. výrobci součástek pro spalovací motory). Tyto podniky potřebují pro své know-how a výrobní technologie najít jiné uplatnění.

Hotové výrobky

Např. auta, stroje, elektronika nebo dokončené stavby

Jednotlivé části dodavatelského řetězce se navzájem ovlivňují

UPSTREAM

Výrobce je ovlivňován svými dodavateli

Jestliže dodavatelé zdraží suroviny či klíčové komponenty, nebo když významný dodavatel ukončí výrobu, může se výrobce ocitnout v obtížné situaci. Také proto se výrobci snaží, aby měli pro klíčové komponenty dodavatelů více a byli tak méně zranitelní vůči náhlým změnám.

DOWNSTREAM

Výrobce je ovlivňován svými odběrateli

Pokud výrobci dlouhodobě klesá poptávka po jeho produktech (např. může postupně klesat poptávka po plynových kotlech a místo toho růst poptávka po tepelných čerpadlech) a nedokáže na to reagovat inovací a proměnou výroby, musí výrobu utlumovat a propouštět zaměstnance.

Emisní účetnictví mapuje emise celých dodavatelských řetězců

Podobně jako finanční účetnictví vychází i to emisní ze standardizovaných metodik.⁴ Mapuje emise napříč celým řetězcem a tím umožňuje vytvářet tlak na změny. Rozlišuje:

- **Scope 1: přímé emise** ve výrobním podniku
- **Scope 2: nepřímé emise** související s produkcí energie, kterou podnik při výrobě spotřebuje (elektrina, dálkově dodávané teplo)
- **Scope 3: nepřímé emise v dodavatelském řetězci:**
 - **UPSTREAM:** emise dodavatelů komponent a materiálu pro výrobní podnik
 - **DOWNSTREAM:** emise odběratelů a zákazníků související s používáním výrobku podniku

Náklady na dekarbonizaci vyjadřuje příplatek Green Premium

Ten ukazuje, o kolik procent je nízkoemisní produkt dražší než produkt běžný – např. nízkoemisní ocel oproti běžně vyrobené oceli. Příplatek vyjadřuje náklady na inovace a změny procesů, jež jsou pro dekarbonizaci nutné, a umožňuje tak přemýšlet nad dopady na náklady napříč celým dodavatelským řetězcem.

Zatímco u základních surovin (např. nízkoemisní ocel) může být zelený příplatek až 50 %, u konečných produktů (např. aut) zvedne cenu třeba jen o 1 %, protože ocel tvoří pouze malou část celkových nákladů na výrobu auta.⁵

Dekarbonizace výroby tepla pro průmysl

Přibližně 45 % průmyslových emisí pochází ze spalování fosilních paliv, které slouží k výrobě tepla pro široké spektrum průmyslových aplikací. Velkou část výroby tepla lze dekarbonizovat elektrifikací.

DO 200 °C

Nízkoteplotní teplo

zhruba 40 % emisí z výroby tepla

Využívá se např. v potravinářském, papírenském a textilním průmyslu, ale i v průmyslu farmaceutickém či chemickém. Kromě výrobních procesů sem spadá i vytápění průmyslových budov. Tento typ tepla je nejsnazší elektrifikovat.

200–900 °C

Středněteplotní teplo

zhruba 20 % emisí z výroby tepla

Využívá se zejména v chemickém průmyslu. Někdy se vyhřívají přímo nádoby s reaktanty, jindy je nosičem tepla vysokotlaká pára. I v této kategorii lze většinu procesů elektrifikovat.

900 °C A VÍCE

Vysokoteplotní teplo

zhruba 40 % emisí z výroby tepla

Vysoké teploty nad 900 °C jsou nutné při výrobě oceli a cementu nebo při vypalování cihel či keramiky a tavení skla. Vysokoteplotní výroby jsou energeticky velmi náročné, což komplikuje jejich elektrifikaci.



Zdroj dat: vlastní zpracování

Potravinářství

Pasterizace, vaření, sušení (obilovin, mléka), sterilizace potravin a destilace alkoholu typicky vyžadují teploty okolo 100 °C. V tomto oboru jsou navíc vysoké nároky na čistotu a hygienu.

Papírenství

Při vaření a bělení celulózy teplo urychluje proces oddělování celulózových vláken, ze kterých je vyroben papír. Podobně je teplo zásadní pro sušení papíru – v papírenství se využívají teploty do 200 °C.

Chemický průmysl

Polymerace při výrobě plastů a pryskyřic, výroba rozpouštědel, destilace různých látek nebo udržování teploty pro chemické reakce používají teploty do 200 °C.

Syntéza amoniaku NH_3 vyžaduje vysoké tlaky 250 atm a teploty do 500 °C.

Krakování ropy, tedy rozklad velkých uhlovodíkových molekul na menší a užitečnější molekuly (benzín, etylen), vyžaduje teploty 450–700 °C

Při výrobě vodíku ze zemního plynu jsou nutné teploty okolo 900 °C.

Výroba cementu a vápna

Kalcinace vápence probíhá při teplotách 1000–1400 °C. V rotačních pecích se při výrobě cementu spaluje odpad, biomasa či uhlí.

Výroba cihel, keramiky a skla

Výpal cihel a keramiky vyžaduje teploty 1000–1400 °C, tavení sklářského písku až 1600 °C, pro tvarování skla postačí nižší teploty 700–1000 °C.

Výroba železa a oceli

Při výrobě železa ve vysokých pecích dosahují teploty přes 1600 °C.

MOŽNOSTI DEKARBONIZACE

Velkou část výroby tepla lze elektrifikovat

Pomocí elektřiny lze průmyslové teplo vyrábět v **široké škále teplot**.⁶ Stejně jako další investice v průmyslu je ovšem potřeba elektrifikaci plánovat na dlouhé roky dopředu, neboť jsou s ní často spojeny velké investiční náklady a někdy také nutnost posílení přípojky do sítě, která umožní přenášet vysoké výkony elektřiny.

Průmyslová tepelná čerpadla

Fungují na stejném principu jako malá tepelná čerpadla (viz s. 178) jen jsou mnohem větší. Mají typicky tisíckrát vyšší výkon a umožňují dosahovat teplot do 200 °C. Jako zdroj často využívají odpadní teplo z výrobního procesu. Zásadní výhodou je jejich efektivita – dokáží dodat cca 3× více tepla, než kolik spotřebují energie.

O odporový ohřev

V běžných vařičích, ale i v elektrických pecích vzniká teplo tím, že vodičem – obvykle topnou spirálou – přímo prochází proud. Tímto způsobem lze dosahovat i velmi vysokých teplot, vhodných třeba k vypalování keramiky.

Kromě výše zmíněných technologií je v některých případech možné využívat také **indukční** nebo **mikrovlnný** ohřev.

Ve zbylých případech, kde není elektrifikace možná, je potřeba k výrobě tepla dál využívat **spalování paliv**. Fosilní paliva zde mohou být zčásti nahrazena různými formami biomasy či biometanem, v budoucnu možná i spalováním nízkoemisního vodíku (viz s. 138–139).

Skladování tepla

Proměnlivost výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů pravděpodobně povede k tomu, že se energie bude skladovat ve formě tepla, což může využít i průmysl. Tyto zásobníky tepla mohou pomáhat stabilizovat elektrickou soustavu (viz s. 92). Jako skladovací médium lze používat vodu (nižší teploty) nebo speciální cihly či roztavené soli (vysoké teploty).

Elektrické obloukové pece

Běžně se používají při zpracování šrotu a výrobě sekundární oceli a umožňují dosáhnout teplot okolo 1800 °C. Využívají elektrický obloukový výboj, který vzniká mezi grafitovými elektrodami a taveným materiálem.

Výroba oceli

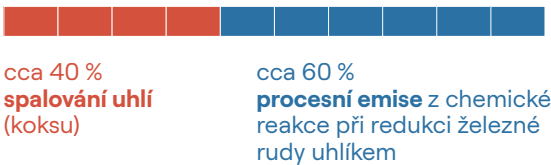
Při výrobě oceli vznikají emise CO₂ nejen spalováním fosilních paliv, ale i chemickými reakcemi ve výrobním procesu. Hlavní cestou ke snížení emisí bude v Česku nejspíš recyklace oceli a přechod na elektrické obloukové pece.

Kde se využívá ocel

Pro svou relativně velkou pevnost má široké využití ve stavebnictví (nosné konstrukce, výztuže do betonu), energetice (potrubí, turbíny, generátory), v mnoha různých strojích, při výrobě aut (karoserie, podvozky, části motorů) i domácích spotřebičů. V Česku se každý rok spotřebuje zhruba 0,5 tuny

oceli v přepočtu na jednoho obyvatele, ale vyrobí se jí zde jen přibližně poloviční množství (další ocel se dováží).

Emise CO₂ z výroby oceli⁷



Při výrobě **1 tuny oceli** vzniká **1,4 tuny emisí**



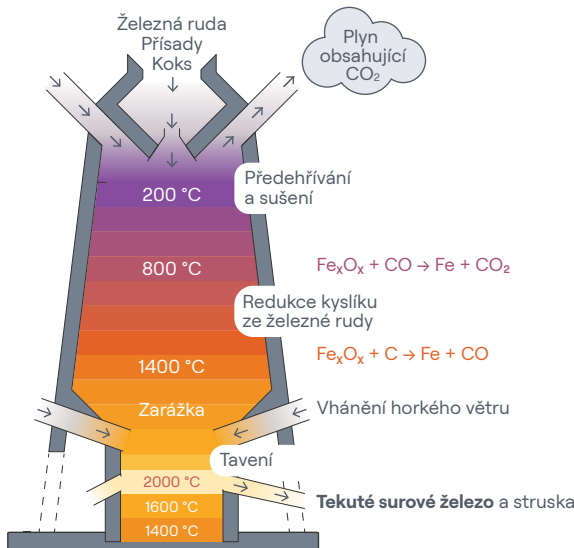
PODÍL VÝROBY OCELI NA EMISÍCH

7 % emisí CO₂eq v Česku
4–5 % emisí CO₂eq ve světě

Jak se obvykle vyrábí ocel

Prvním a emisně nejnáročnějším krokem je výroba **surového železa** ve vysoké peci. Vstupními surovinami jsou hlavně železná ruda a koks (produkt z kvalitního černého uhlí). Díky spalování koksu v peci dochází k sérii chemických reakcí, při nichž se z železné rudy tvořené oxidy železa postupně odebírá kyslík (uhlík z koksu na sebe naváže kyslík z rudy) a jako odpadní plyn vzniká CO₂. Ze dna pece odtéká roz-tavené surové železo a odděluje se od něj struska. Železo poté putuje do **oceláren**, kde se odsiřuje, a v dalších pecích (obvykle v tzv. kyslíkových konvertorech) se snižuje obsah uhlíku a nečistot. Výsledná slitina se dále upravuje, aby ocel získala požadované vlastnosti. Takto se vyrábí asi dvě třetiny světové oceli a veškerá ocel v Česku.

SCHÉMA VÝROBY OCELI VE VYSOKÉ PECI



MOŽNOSTI DEKARBONIZACE

Bezemisní ocel vyžaduje jiný způsob výroby

Při tradiční výrobě oceli ve vysoké peci a kyslíkovém konvertoru je možné dosáhnout snížení emisí CO₂ nejvýše v řádu jednotek procent – pomocí energetických úspor nebo změn

při výrobě koksu. K získání opravdu nízkoemisní oceli je nutné způsob výroby zásadně změnit. Úpravy stávajících provozů budou ovšem náročné technologicky i finančně.

Díky elektrifikaci lze recyklovat starou ocel

SPALOVÁNÍ PALIV

V **elektrických obloukových pecích (EAF)** vzniká více než čtvrtina současné světové produkce oceli recyklací ocelového šrotu.

Přechod na tento způsob výroby dnes představuje jedinou široce dostupnou a konkurenceschopnou technologii vedoucí k významnému snížení emisí v ocelářství. Pravděpodobně se proto uplatní také v Česku.

O kolik se elektrifikací sníží emise?

Pomocí elektrifikace a využití nízkoemisní elektřiny lze snížit emise CO₂ téměř na nulu. Díky recyklaci staré oceli není třeba zpracovávat železnou rudu a tedy řešit procesní emise, jež při tomto zpracování vznikají ve vysokých pecích.

Kolik oceli lze reálně recyklovat?

Ve vyspělých ekonomikách, včetně Česka, kde je velké množství oceli už v oběhu, lze většinu potřebné oceli vyrobit pomocí recyklace. Podle některých odhadů se na celém světě může výroba oceli tímto způsobem do roku 2050 až zdvojnásobit.⁸

Novou ocel lze vyrábět pomocí nízkoemisního vodíku

SPALOVÁNÍ PALIV

PROCESNÍ EMISE

Tzv. **přímá redukce železa nízkoemisním vodíkem (H₂-DRI)** je jedinou téměř bezemisní technologií výroby nové oceli z železné rudy ve fázi komercializace.

Takto vyrobené surové železo je pak možné dále zpracovávat v elektrických obloukových pecích a vyhnout se tak emisně náročnějším kyslíkovým konvertorům.

Jak se ocel pomocí vodíku vyrábí?

Místo redukce uhlíkem, při níž jako odpadní plyn vzniká CO₂, dochází k redukci vodíkem za vzniku vodní páry (H₂O). Tím lze nahradit emisně nejnáročnější část výroby oceli ve vysoké peci, kde se dnes jako palivo i redukční činidlo používá koks.

Jakou roli hraje dostupnost nízkoemisního vodíku?

Protože využití vodíku je nutnou podmínkou téměř úplné dekarbonizace výroby oceli, bude světový ocelářský průmysl zřejmě koncentrovat své provozy zejména tam, kde budou nedostupnější obnovitelné zdroje elektřiny, které budou potřeba k výrobě nízkoemisního vodíku. Více o tomto vodíku na s. 138–139.

Doplnit stávající výrobu o technologii CCS se nedaří

SPALOVÁNÍ PALIV

PROCESNÍ EMISE

Na vysoké pece je možné instalovat zařízení na zachytávání CO₂ (technologie CCS, viz s. 140–141), která mohou teoreticky zachytit až 90–95 % emisí. Reálné projekty tohoto typu v ocelářském průmyslu ale čelí velkým překážkám a zatím nedosahují ani poloviční účinnosti.

I když se do této cesty ještě donedávna vkládaly značné naděje, v současnosti budování vysokých pecí opatřených CCS téměř žádní průmysloví hráči neplánují.⁹

Výroba cementu a vápna

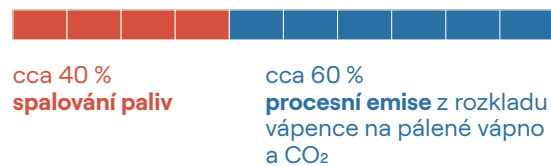
Při výrobě cementu a vápna se emise CO₂ vytváří nejenom pálením fosilních paliv, ale také přímo v procesu rozkladu vápence. Ke snížení těchto emisí se v praxi zkouší hned několik cest.

Kde se využívá cement a vápno

Cement se používá na stavbu domů, komerčních a průmyslových objektů či dopravní infrastruktury. Vápno má široké využití ve stavebnictví (omítky, štuky), zemědělství (úprava půdy, dezinfekce, součást hnojiv), potravinářství (např. kypřicí prášky), při čištění vody nebo výrobě skla, papíru či oceli.

V Česku se každý rok vyrobí a spotřebuje zhruba 0,5 tuny cementu a vápna v přepočtu na jednoho obyvatele. **Dovážení na velké vzdálenosti se u cementu a vápna nevyplatí**, na rozdíl od jiných odvětví. Obojí se tak i nadále bude vyrábět v Česku.

Emise CO₂ z výroby cementu a vápna¹⁰



Při výrobě **1 tuny cementu** vzniká **0,6 tuny emisí**



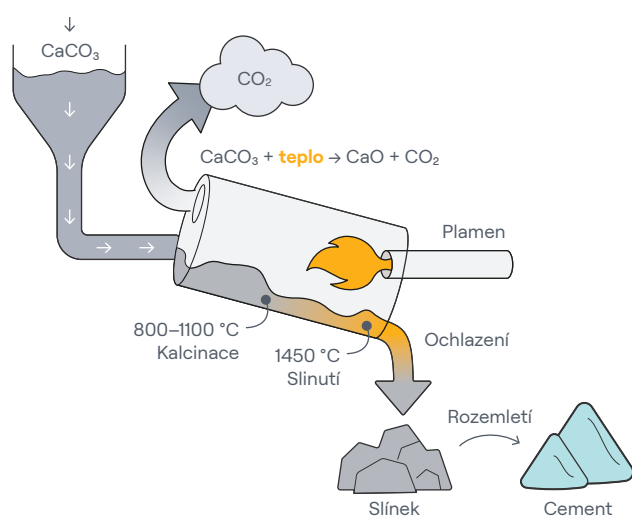
PODÍL VÝROBY CEMENTU A VÁPNA NA EMISÍCH

3–4 % emisí CO₂eq v Česku
4–5 % emisí CO₂eq ve světě

Jak se obvykle vyrábí cement a vápno

V obou případech se vápenec (CaCO₃) zahřívá postupně na 800–1100 °C, až se rozloží na pálené vápno (CaO) a oxid uhličitý (CO₂). Reakcí s vodou lze potom z páleného vápna vyrobit vápno hašené Ca(OH)₂. Při výrobě cementu se pálené vápno dále zahřívá s oxidy křemíku a hliníku až na 1450 °C a po reakci vytváří spečeninu – tzv. slínek. Ten se po ochlazení rozdrtí na kusy a ty se samostatně či s přísadami rozemelou na finální produkt – cement.

SCHÉMA VÝROBY CEMENTU V ROTAČNÍ PECI



MOŽNOSTI DEKARBONIZACE

Částečná dekarbonizace už probíhá, úplná představuje výzvu

Ke snižování emisí CO₂ vede několik níže popsaných cest a jejich kombinací, ale žádná z nich v současnosti neznamená úplnou dekarbonizaci. Stále se však vyvíjejí a zkouší další postupy, které se nakonec mohou větší části emisí vyvarovat.

Nahrazení fosilních paliv

SPALOVÁNÍ PALIV

Místo uhlí či plynu se používají jiná paliva, která vytvářejí méně emisí (míra snížení závisí na typu paliva).

Nahrazováním paliv se však dá eliminovat pouze menší část emisí CO₂ při výrobě – emise související se spalováním. Procesní emise z rozkladu vápence zůstávají.

Jaká jiná paliva se dají využít?

Cementárny v Česku využívají uhlí už z méně než 20 %. Kolem 50 % tvoří odpad a cca 30 % biomasa.¹¹ V případě energetického využití odpadu nemusí být snížení emisí velké, ale přispívá to k jeho využití a je to ekonomické.

Významnější snížení emisí by mohlo přinést používání nízkoemisního vodíku, pokročilých biopaliv, nebo dokonce elektrifikace výroby s využitím nízkoemisní elektřiny. Všechna tato řešení jsou ale technologicky i finančně náročná.

Změny ve složení cementu

SPALOVÁNÍ PALIV PROCESNÍ EMISE

Protože nejvíce emisí CO₂ při běžné výrobě cementu vzniká při produkci slínku, zkoušejí se různé způsoby, jak jej ve výsledném produktu použít méně nebo se bez něj zcela obejít.

Takové cementy ovšem mohou mít trochu jiné vlastnosti a být vhodné jen pro určitý způsob použití. Nebo může jejich využívání vyžadovat úpravu stavebních postupů.

Jak to funguje

Běžně se menší část slínku nahrazuje tzv. doplňkovými cementovými materiály (SCM): struskou, uhelným popílkem, kalcinovaným jílem aj. Šetří to i náklady a při důslednější aplikaci lze takto snížit emise CO₂ spojené výrobkem až o 40 %. Další inovace přicházejí s cementy zcela nového chemického složení. Ty neobsahují žádný slínek, a tedy ani nepoužívají vápenec jako vstupní surovinu. Cement tvoří tzv. geopolymery (alumino-silikáty), jež se aktivují pomocí silně alkalických látek. Výsledný produkt má až o 70 % nižší emise CO₂, jeho výroba je však dražší.¹²

Využití technologie CCS

SPALOVÁNÍ PALIV PROCESNÍ EMISE

Tato technologie může sloužit k zachytávání emisí CO₂ při výrobě cementu a vápna (více na s. 140–141). Vyžaduje to však přestavbu provozu cementárny, je to náročné a drahé.

Odhaduje se, že u prvních cementáren s touto technologií bude zachyceno cca 50 % vyprodukovaných emisí CO₂.¹³

Lze efektivitu CCS dále zvyšovat?

Projekt Leilac vytváří inovovanou technologii CCS upravenou přímo pro výrobu cementu a vápna.¹⁴ Inovace spočívá v oddělení zdroje tepla od chemických procesů dekarbonizace vápence. Procesní CO₂ se tak nemísí s odpadními plyny z hoření ani se vzduchem a je možné jej přímo (a tedy levněji) zachycovat v jeho čisté formě. Tento postup se navíc dá kombinovat s různými způsoby výroby tepla, včetně elektrifikace. Tím lze eliminovat i druhou část emisí, která tradičně pochází ze spalování uhlí či plynu.

Chemický průmysl

Hlavní výzvou pro dekarbonizaci tohoto odvětví je jeho komplexita, různorodost a velká energetická náročnost. Nejvíce emisí je spojeno s několika málo procesy, jako je zejména zpracování ropy, výroba plastů, amoniaku a metanolu.

Kde se využívají produkty chemického průmyslu

Chemický průmysl je jedním ze základních kamenů mnoha hodnotových řetězců napříč ekonomikou, protože chemické látky se nachází v naprosté většině finálních výrobků. Vyrábí plasty, pohonné hmoty, hnojiva, gumy či barvy, ale také vstupní chemikálie pro výrobu léků, baterií, elektroniky,

kosmetiky a mnoha dalších produktů. V Česku se vyrábí pouze část chemických látek, které se zde spotřebují. Některé látky se dovážejí ze světa, jiné se naopak do něj vyváží.

Emise skleníkových plynů z chemické výroby¹⁵



cca 70 % emisí
spalování paliv

cca 30 %
procesní emise

Ke spuštění chemických reakcí jsou často nezbytné vysoké teploty a tlaky.

Při výrobě amoniaku, etylenu a v dalších procesech vzniká během chemických reakcí i CO₂ či CH₄.

Mnoho produktů má široké využití

Například metanol je surovinou na výrobu lepidel pro nábytek a dřevotřísky, používá se k výrobě rozpouštědel, dělají se z něj také odolné plasty jako polyacetal. Dále se využívá v agrochemii při výrobě pesticidů a herbicidů nebo v potravinářském průmyslu při výrobě octa. Slouží jako aditivum do benzínu i jako základ pro syntetická paliva. Podobně univerzální je např. kyselina sírová, etylen a amoniak.

Dekarbonizace výroby několika základních surovin tak může výrazně snížit emise celého odvětví.

PODÍL CHEMICKÉHO PRŮMYSLU NA EMISÍCH

5 % emisí CO₂eq v Česku
3 % emisí CO₂eq ve světě

Většina emisí souvisí jen s několika procesy

Navzdory obrovskému množství chemikálií, většina emisí chemického průmyslu souvisí s několika hlavními procesy.

Zpracování ropy

I když není tak emisně náročné jako některé jiné části chemického průmyslu, vzhledem k celkovému objemu produkce zde vzniká značné množství CO₂.

Ropa se zahřívá a destilací rozděluje na jednotlivé frakce podle jejich rozdílných teplot varu. Ty se potom v rafinériích nebo v navazujících petrochemických závodech dále zpracovávají na produkty, jako je motorová nafta, automobilový benzín, petrolej, těžké topné oleje, asfalt apod.

MOŽNÉ ŘEŠENÍ

Snížení spotřeby ropy

S dekarbonizací dopravy významně poklesne potřeba ropy zpracovávat a vyrábět benzín a naftu.

Plasty

Jejich výroba na světě stále stoupá, což vytváří problémy – nejen vyšší emise z výroby, ale také stále více plastového odpadu.

K výrobě plastů se využívá jedna z frakcí, která vznikla při zpracování ropy. V ní obsažené složité uhlovodíky se krakováním rozkládají na jednoduché (tzv. monomery). Ty se následně spojují do řetězců (polymerů). Nejpoužívanějšími plasty jsou PET, PVC, polyetylen, polypropylen a polystyren.

MOŽNÉ ŘEŠENÍ

Recyklace a cirkularita

Prodloužení života plastů a jejich recyklace snižuje emise z výroby i množství plastového odpadu.

Využití biomasy jako vstupní suroviny

Může jít o lokální využití (ve velkém měřítku není k dispozici dost biomasy).

Amoniak (čpavek)

Využívá se hlavně na výrobu dusíkatých hnojiv, ale i mnoha dalších výrobků včetně léků, výbušnin nebo čistících prostředků. Největší část emisí pochází z výroby vodíku (H₂), který představuje hlavní vstupní surovinu.

Ten se v současnosti vyrábí především ze zemního plynu jako tzv. šedý vodík (při tomto procesu uniká velké množství CO₂). V dalším kroku vstupuje vodík spolu s dusíkem do tzv. Haberova-Boschova procesu a za vysoké teploty a tlaku vzniká amoniak.

MOŽNÉ ŘEŠENÍ

Používání nízkoemisního vodíku

Viz další dvoustrana.

Metanol

Používá se například jako rozpouštědlo či palivo, především ale jako výchozí látka pro výrobu mnoha dalších produktů.

Tradičně se vyrábí ze zemního plynu nebo uhlí. Nejprve se připraví tzv. syntézní plyn, tedy směs oxidu uhelnatého (CO) a vodíku (H₂). Poté dochází při vysoké teplotě a tlaku a za použití katalyzátorů k syntéze. Část zbylého plynu se dokonce spaluje. Uvolňované emise CO₂ se v různých postupech výroby a u jednotlivých výrobců výrazně liší.

MOŽNÉ ŘEŠENÍ

Používání nízkoemisního vodíku

Viz další dvoustrana.

Využití biomasy jako vstupní suroviny

Může jít o lokální využití (ve velkém měřítku není k dispozici dost biomasy).

Nízkoemisní vodík

Vodík se dnes využívá především jako vstupní surovina v chemickém průmyslu. V budoucnu by mohl mít široké využití i jako palivo, které lze navíc vyrobit téměř bez emisí skleníkových plynů. Jeho role ale možná bude omezenější, než se dříve doufalo, a jako řešení se prosadí jen při dekarbonizaci některých průmyslových odvětví.

Výroba může být téměř bez emisí

Zatím se to příliš neděje. Světová výroba cca 100 milionů tun vysokoemisního vodíku dnes ročně produkuje asi 2 % světových emisí skleníkových plynů. **Vodík ale lze vyrábět čistě,** téměř bez emisí. Jednotlivé postupy se pro jednoduchost označují pomocí barev.

Pro ekonomiku výroby čistého vodíku tedy bude zásadní zejména dostatek levné čisté elektřiny nebo dostupná infrastruktura CCS. Scénáře budoucí celosvětové výroby nízkoemisního vodíku se navzájem velmi liší: odhady pro rok 2050 se pohybují mezi **150 až 400** milionů tun ročně.

NÍZKOEMISNÍ



Zelený vodík

Vyrábí se elektrolýzou – štěpením vody pomocí elektřiny z obnovitelných zdrojů. Elektřina může pocházet také ze zdrojů jaderných (takový vodík se někdy označuje jako růžový).

NÍZKOEMISNÍ



Modrý vodík

Vyrábí se ze zemního plynu, ale využívá CCS (viz s. 140–141) k zachycení a uložení či využití velké části emisí CO₂ z tohoto procesu.

VYSOKOEMISNÍ



Šedý vodík

Dnes převažující forma, která se vyrábí ze zemního plynu či ropy bez zachytávání CO₂, a s níž jsou spojeny vysoké emise (cca 12 tun CO₂ na 1 tunu vodíku).

Vodík lze transportovat potrubím, distribuce je těžší

Transport napříč Evropou

Vodík je možné přepravovat mírně upravenými plynovody. Tato úprava je relativně snadná a neohroží přepravu zemního plynu. V Evropě vzniká síť páteřních vodíkovodů (zahrnující i Česko). Díky ní by v Evropě mohl vzniknout společný trh, podobně jako u zemního plynu.

Česko bude spíše importérem

Česko v budoucnu nejspíš nedokáže v evropské konkurenci vyniknout ani levnou nízkoemisní elektřinou, ani infrastrukturou pro transport a ukládání CO₂ (jinde v Evropě jsou často lepší přírodní podmínky). Může se tak stát, že Česko bude využívat evropskou síť spíše k importu nízkoemisního vodíku.

Distribuce a skladování je těžší

Plynová **distribuční** síť by šla k dodávání vodíku průmyslovým odběratelům použít jen tehdy, kdyby se přestala využívat na zemní plyn. Budovat nové vodíkové přípojky je dost drahé. Protože vodík je velmi lehký plyn¹⁸, jeho přeprava cisternami není efektivní. Vodík také nelze **skladovat** v běžných podzemních zásobnících. Po Evropě se budují speciální vodíkové, v Česku ale na velké zásobníky nejsou vhodné geologické podmínky.

Kde může pomoci s dekarbonizací?

Nízkoemisní vodík lze využít mnoha způsoby, zdaleka ne všechny ale budou ekonomicky konkurenceschopné. Zatímco někde bude zřejmě v dekarbonizaci nenahraditelný,

jinde jej může vytlačit jiná levnější nebo infrastrukturně dostupnější technologie.

KDE SE NEJSPÍŠE PROSADÍ

Náhrada šedého vodíku

Procesy, kde se v současnosti vodík využívá jako chemická surovina, nelze dekarbonizovat jinak než jeho náhradou za nízkoemisní variantu.

Výroba amoniaku a metanolu

Bude podobná jako v současnosti. Amoniak se používá hlavně na výrobu hnojiv, metanol je základní chemickou surovinou při výrobě řady dalších látek.

Zpracování ropy a zemního plynu

Např. krakování nebo odstraňování síry, bude podobné jako v současnosti. Tohoto využití však s postupující dekarbonizací a náhradou fosilních paliv může výrazně ubýtn.

Potravinářství a další využití

Jiná využití už jsou spíše okrajová (např. v potravinářství na ztužování tuků při výrobě margarínů).

KDE MŮŽE ZÍSKAT ČÁST TRHU

Procesy náročné na dekarbonizaci

U procesů náročných na dekarbonizaci je využití vodíku relativně výhodné a může se jako řešení prosadit.

Výroba železa

Vodík by mohl sloužit jako redukční činidlo při zpracování železné rudy (viz s. 133).

Palivo pro vysokoteplotní procesy v průmyslu

U mnoha vysokoteplotních procesů nelze snadno použít elektřinu. Vodík by zde mohl přímo nahradit zemní plyn.

PALIVO MIMO PRŮMYSL

Pro záložní zdroje elektřiny a tepla

Vodík lze spalovat přímo v upravených plynových turbínách na výrobu elektřiny a tepla a tím pomáhat vykrývat špičky spotřeby či období nedostatečné solární a větrné výroby.

V letectví a lodní dopravě

Z vodíku lze vyrobit syntetická paliva pro letadla (ve formě syntetického kerosinu) i lodě (např. jako jednodušší amoniak či metanol – viz sloupec vlevo).

V dálkové silniční dopravě

Vodík může být zdrojem energie v dopravě (palivové články z něj dokáží vyrábět elektřinu pro elektromotor). Největší šanci na úspěch má vodík v nákladní dopravě na velké vzdálenosti.

KDE SPÍŠE NEUSPĚJE

Další oblasti

Některé procesy lze dekarbonizovat i pomocí vodíku, z dnešního pohledu se ale zdá být jednodušší zvolit jiné řešení.

Palivo pro nízkoteplotní procesy v průmyslu

To jsou procesy, kde vodík snadněji může nahradit elektřinu.

PALIVO MIMO PRŮMYSL

K vytápění budov

Vodík lze v principu spalovat ve speciálních plynových kotlích. Ekonomicky ale z dnešního pohledu těžko může konkurovat elektrifikaci.

V osobní dopravě (vodík nebo syntetická paliva)

Vodík lze využít v palivových článcích, z dnešního pohledu se ale pro většinu osobní dopravy zdá být výhodnějším řešením elektrifikace. Syntetická paliva jsou ještě dražší variantou (mohou se prosadit pro sportovní auta či veterány).

VÝROBA VODÍKU DNES

100 mil. tun/rok celosvětově¹⁶

Téměř veškerý vodík se dnes vyrábí jako šedý – tedy s velkými emisemi skleníkových plynů (při výrobě 1 tuny vodíku se uvolní cca 12 tun CO₂). V Česku se vyrobí asi 100 tisíc tun ročně, tj. jedna tisícina světové výroby.

POTENCIÁL NÍZKOEMISNÍHO VODÍKU

150–400 mil. tun/rok celosvětově¹⁷

Odhadovaný potenciál se v různých scénářích budoucího vývoje značně liší – zatímco některé počítají pouze s částečnou dekarbonizací současné výroby, jiné předpokládají velmi široké další využití vodíku.

ÚČINNOST ELEKTROLÝZY

60–85 %

Tedy z 1 kWh elektřiny se vyrobí cca 0,6–0,85 kWh vodíku. Ve světě probíhá intenzivní výzkum dalších technologií, které by byly schopny účinnost elektrolýzy dále zvýšit.

ODHAD CENY VODÍKU (2030)

cca 3–8 \$/kg nízkoemisního vodíku¹⁹

Dnes se ve světě vyrábí šedý vodík za 1–4 \$/kg, zelený vodík za 4–12 \$/kg (v Česku je cena spíše na horním konci této škály). I v roce 2030 tedy bude podle současných odhadů nízkoemisní vodík stále znatelně dražší než vysokoemisní šedý vodík.

Zachytávání a ukládání CO₂ (CCS)

Technologie CCS (Carbon Capture and Storage) umožňují zachytávat emise CO₂ z průmyslových procesů a zachycený plyn pak zčásti dále využívat nebo ukládat hluboko pod zem. Pro dosažení klimatické neutrality jsou tyto technologie nezbytné, ale nejspíš se prosadí hlavně v případech, kde lepší cesty k zastavení emisí neexistují.

Jak CCS funguje

Zachytávání, využívání a ukládání CO₂ může mít mnoho různých podob – záleží na konkrétním odvětví průmyslu a na místních podmínkách. Zde je zjednodušený popis:



1. Zachycování CO₂

Při spalování fosilních paliv a dalších průmyslových procesech se vytváří směs horkých odpadních plynů obsahujících CO₂. Tyto plyny se nejprve ochlazují pomocí vody, poté se přidá vhodná chemická sloučenina, na kterou se následně CO₂ naváže. Zbýlé plyny, zbavené až 95 % CO₂, stoupají a vypouštějí se. Na jiném místě a díky zahřívání se od této chemické sloučeniny opět oddělí CO₂, jež pak stoupá vzhůru. Chemikálie se následně znovu využije.



2. Přeprava

CO₂ se stlačuje pro přepravu potrubím v plynném či tzv. superkritickém stavu (na pomezí plynu a kapaliny) nebo se zkapalňuje pro přepravu lodí. Náklady na přepravu významně snižuje vzdálenost (čím kratší, tím lépe) a možnost využít dřívější ropná a plynová potrubí (není nutné budovat nové potrubí).



3 a. Využití

Částečné využívání zachyceného CO₂ v dalších průmyslových procesech snižuje jejich náklady, čímž zlepšuje ekonomiku CCS. V současnosti se uplatní především v potravinářství a při výrobě hnojiv. Plánuje se také využití CO₂ pro výrobu syntetických paliv (pro letadla či lodě), plastů, vápence nebo jeho injekce do betonu.



3 b. Ukládání

CO₂ se trvale ukládá do vhodných geologických lokalit na souši nebo pod mořským dnem, kde je minimální riziko jeho úniku. Jde především o vytěžená ložiska ropy a plynu nebo tzv. slané akvifery (podzemní prostory nasycené slanou vodou) pod neprostupnou vrstvou horniny. Uložené CO₂ se částečně rozpouští ve slané vodě, někdy se také váže na minerály v okolních horninách.

CO₂ lze odebírat i z atmosféry

DAC (direct air capture) čili zachytávání CO₂ ze vzduchu je variantou technologie CCS zachytávající CO₂ přímo ze vzduchu, čímž snižuje jeho koncentraci v atmosféře. Nevyužívá tedy odpadní plyny z průmyslu. Tento postup je zatím technologicky i energeticky výrazně náročnější a dražší. V případě úspěšného rozvoje by tato technologie mohla v budoucnu kompenzovat poslední emise zbývající k dosažení úplné klimatické neutrality..

CCS DNES

50 mil. tun CO₂/rok celosvětově

Historicky se vstřikování CO₂ do geologických vrstev používalo hlavně v těžebním průmyslu k tzv. zlepšenému získávání ropy (EOR). V současnosti se ale postupně prosazuje i v dalších oblastech. Mnoho nových projektů je ve fázi plánování a výstavby.²⁰

POTENCIÁL CCS

1000–6 000 mil. tun CO₂/rok (celosvětově)²¹

To je asi 1,7–10 % současných světových emisí CO₂eq. Odhady dalšího vývoje a potenciálu technologie jsou velmi různé: od rozšíření kapacity CCS na cca 1 000 mil tun CO₂ až po zásadní roli CCS, BECCS²² a DAC na cestě k dosažení klimatické neutrality. Uvedený rozsah zahrnuje zachycování CO₂ nejen v průmyslu, ale také v energetice a přímo ze vzduchu.

Míra využití CCS v jednotlivých odvětvích průmyslu se liší

Zachytávání je náročné a málo účinné, pokud je CO₂ součástí celé směsi odpadních plynů. Většinu infrastruktury pro transport bude navíc třeba teprve postavit a ukládání také vyžaduje dostupnost vhodných lokalit a specifickou technickou expertizu.

Protože CCS vždy prodrazuje provoz průmyslového zařízení, u něhož se využívá, dává jeho využití smysl hlavně tam, kde emise CO₂ jinak snížit nejde (případně je jiný způsob ještě dražší).

Částečně mohou jeho využití usnadnit a zlevnit tzv. CCS klustry (huby), kde bude infrastrukturu pro přepravu a ukládání CO₂ sdílet více průmyslových podniků. K těmto hubům se pak budou moci připojit i další, menší průmyslová zařízení, pro něž by jinak CCS bylo ekonomicky nedosažitelné.

MOŽNÉ VYUŽITÍ CCS V RŮZNÝCH ODVĚTVÍCH

KDE SE NEJSPIŠE PROSADÍ

- **cement a vápno**
- **amoniak** (vyráběný pomocí modrého vodíku)

KDE SE MŮŽE PROSADIT PŘECHODNĚ

- **rafinace ropy**
- **sklo**
- **další chemické látky:** benzen, metanol, alkeny aj.

KDE SPIŠE NEUSPĚJE

- **ocel**
- **hliník**

Zdroj dat: Kleinman Center for Energy Policy, U.S. CCS Ladder for Industrial Decarbonization²⁶

V Evropě se očekává ukládání hlavně v Severním moři

Pro dosažení klimatické neutrality plánuje EU do roku 2030 ukládat 50 Mt (milionů tun) CO₂ ročně a do roku 2050 cca 250 Mt ročně.²⁴ Největší potenciál má Severní moře, kde Norsko, Velká Británie, Dánsko a Nizozemí plánují už přes 20 různých projektů. Další úložiště se připravují i v jiných zemích. V provozu je ale zatím pouze několik lokalit.

V Česku je potenciál omezený. Zkoumají se možnosti ukládání CO₂ především ve středočeské pánvi a na jižní Moravě.²⁵ Nejdále je příprava pilotního projektu CCS Moravia, kde se počítá s využitím téměř vytěženého ložiska ropy a zemního plynu. Pokud se ale má i v Česku v budoucnosti rozvinout CCS ve větším měřítku, vzhledem k omezeným kapacitám úložišť bude zřejmě nutné část zachyceného CO₂ přepravovat do zahraničí v rámci nové (zatím neexistující) celoevropské sítě potrubí.

ÚČINNOST ZACHYTÁVÁNÍ CO₂

cca 50–95 %

I když lze teoreticky CO₂ zachytávat s účinností i přes 95 %, v některých reálných provozech je zatím efektivita mnohem nižší (i méně než 50 %).

CENA ZA ZACHYCENÍ A ULOŽENÍ TUNY CO₂

cca 40–200 €²³

Cena se v jednotlivých případech významně liší – záleží na průmyslovém odvětví, druhu technologie zachytávání, délce přepravy i typu úložiště. V budoucnu může cena klesat.

Co vše může při dekarbonizaci průmyslu hrát roli?

Dekarbonizace průmyslu úzce souvisí s konkurenceschopností firem, jednotlivých produktů či jejich komponentů. Významnou roli bude hrát, v jakých lokalitách se bude investovat do čistších provozů, jak bude celou transformaci usměrňovat stát podle svých strategických zájmů a jak se bude dařit snižovat její negativní ekonomické i sociální dopady.

Lokalita a stav infrastruktury

Vhodné umístění pro dekarbonizovanou výrobu bude záležet na stavu infrastruktury a ceně elektřiny

Ocelárny dříve vyrůstaly blízko dolů na železnou rudu, cementárny u lomů vápence a energeticky náročné provozy v blízkosti těžby černého uhlí. Pro dekarbonizovanou výrobu ale může být výhodná úplně jiná lokalita, přičemž záleží bude mimo jiné na těchto faktorech (Česko v evropském srovnání ani v jednom z nich zatím nevyniká):

- **Dostupnost levné nízkoemisní elektřiny:** např. blízkost větrných parků na moři či velkých hydroelektráren, roli hraje také kapacita přenosových a distribučních sítí
- **Vodíková infrastruktura:** blízkost k budoucí vodíkové infrastruktuře (potrubí, zásobníky) – zásadní pro odvětví využívající nízkoemisní vodík
- **Ukládání CO₂ (CCS):** napojení na infrastrukturu pro transport CO₂ a blízkost vhodných geologických úložišť
- **Další zdroje a suroviny:** železná ruda, voda, biomasa, odpadní teplo z jiných průmyslových závodů apod.

CO Z TOHO MŮŽE PLYNOUT PRO ČESKO

- **Přesun výroby** po Evropě (či po světě) se může týkat mnoha emisně náročných produktů včetně oceli a základních chemických surovin.
- **Uhlíkové clo (CBAM)** má zabránit tomu, že se těžký průmysl přesune kvůli emisním povolenkám mimo EU – přesun ale může nastat i kvůli jiným faktorům, jako je cena elektřiny, cena práce aj.
- **Přesun výroby se netýká surovin a produktů, které mají pouze lokální trh** a nevyplatí se je převážet na velkou vzdálenost – např. výrobu cementu nebo cihel tak bude potřeba dekarbonizovat v Česku.
- **Dlouhá životnost** výrobních zařízení (jako cementová pec) nesvědčí rychlé dekarbonizaci. Nahradit takové zařízení před koncem jeho životnosti nízkoemisní technologií tak může vyžadovat podporu z veřejných rozpočtů.

Proměna dodavatelských řetězců

U některých produktů stoupne při dekarbonizaci poptávka o stovky procent, jiné se naopak přestanou vyrábět.

Jak ukazují *str. 128–129*, podniky jsou mezi sebou provázány a vzájemně se ovlivňují v dodavatelských řetězcích. U dekarbonizace je proto nutné přemýšlet o celých řetězcích – na různé firmy budou mít změny různý vliv:

- **Dodavatelé základních produktů** (např. cement či ocel) zřejmě nebudou čelit významnému poklesu poptávky, a to ani v případě většího zeleného příplatku za tyto produkty.
- **Firmy stojící dál v dodavatelském řetězci** sice mají nízké přímé emise, budou se však muset vyrovnat se změnami u svých dodavatelů a také s proměnami poptávky po vlastních produktech.

Přechod na nízkoemisní výrobu tak představuje komplexní koordinační problém – samotná technologická připravenost nestačí, pokud chybí poptávka.

CO Z TOHO MŮŽE PLYNOUT PRO ČESKO

- **Základní průmyslové produkty** – poptávka po nich se výrazně nezmění a díky uhlíkovému clu by se měly i nadále vyrábět v EU (což nutně neznamená, že to tak bude i v Česku). Výzvou ale budou velké investice do nových technologií a infrastruktury.
- **Další články dodavatelských řetězců** – dekarbonizace je může zásadně proměnit (např. poptávka po plynových kotlech či komponentech spalovacích motorů může strmě klesnout). Pro průmysl v Česku tak bude klíčové uspět s produkty s vysokou přidanou hodnotou, jež budou potřeba k úspěchu v dekarbonizovaném světě.
- **Stimulace poptávky** po nízkoemisních (dražších) produktech – pomoci mohou různé regulace napříč dodavatelskými řetězci (tyto regulace mohou zároveň řešit i koordinační problém).

Bezpečnost a geopolitika

Některé suroviny a produkty si pro vlastní bezpečnost potřebuje Evropa vyrábět sama

Z pohledu Česka i celé Evropské unie mají některá průmyslová odvětví strategický význam. Jedná se o získání či zachování určité míry výrobní soběstačnosti a technologické suverenity například ve výrobě **oceli, aut, základní chemie, zbraní a vojenské techniky**, klíčových **komponent pro elektrárny, pokročilých čipů**, apod. Taková odvětví mohou vyžadovat speciální pozornost a cílené intervence.

Nejde jen o dekarbonizaci, evropský průmysl prochází proměnou a odlivem jeho určitých částí do Asie už desítky let. Pro úspěch průmyslu v Evropě s relativně drahou pracovní silou jsou tak klíčové inovace, vyšší přidaná hodnota a automatizace výroby.

Oproti velkým průmyslovým firmám čelí malé a střední podniky specifickým výzvám. Často postrádají zdroje pro významné investice do dekarbonizace či na výzkum a vývoj, a tak mohou potřebovat specifický přístup a jiné formy veřejné podpory.

CO Z TOHO MŮŽE PLYNOUT PRO ČESKO

- **Stabilní a předvídatelné regulační prostředí** – to musí vytvářet hlavně stát. Firmám dává jistotu při dlouhodobém plánování a podporuje inovace.
- **Budování strategické infrastruktury** – např. sítí pro přenos a distribuci elektřiny nebo potrubních sítí pro transport vodíku či CO₂. I to je úkolem státu.
- **Realizace strategických průmyslových investic** formou investičních pobídek, dotačních programů či daňových zvýhodnění.
- **Prioritizace podpory** – evropské státy včetně Česka se potřebují rozhodnout, která odvětví strategicky podpoří. Velká podpora pro celý průmysl či celní bariéry by vedly jen ke zdražení cen pro spotřebitele.²⁷

Ekonomické a sociální dopady

Dekarbonizace může přinést výraznou proměnu průmyslu a ekonomiky, stát by měl tlumit negativní sociální dopady

Průmysl je v českém hospodářství významným zaměstnavatelem a do velké míry na něm stojí ekonomický výkon státu, a tedy i zdroje pro jeho hospodaření (v Česku tvoří necelých 30 % HDP, zatímco jeho průměrný podíl v EU je jen 20 %). Proměna průmyslu proto může mít významné společenské dopady.

V některých regionech je průmysl dominantním zaměstnavatelem s omezenými dalšími pracovními příležitostmi. Je tak nutné aktivně řešit možnou ztrátu pracovních míst a zajistit efektivní rekvalifikaci pracovní síly pro nové pozice v dekarbonizovaném průmyslu.

Dekarbonizace Evropy bude podle různých ekonomických scénářů vyžadovat spoustu nových oborů a spoustu pracovní síly. Je proto zásadní, aby český průmysl dokázal reagovat na měnící se svět, aby uspěl v perspektivních oborech a vytvářel dostatek práce a ekonomické prosperity napříč regiony Česka.

CO Z TOHO MŮŽE PLYNOUT PRO ČESKO

- **Dopady na zaměstnanost a sociální dopady** v daném regionu – důležité brát v potaz při zvažování podpory a investic z veřejných peněz pro určitá odvětví.
- **Snaha o dlouhodobě prosperující průmysl** – veřejná podpora může tlumit náhlé šoky, ale neměla by zakrývat dlouhodobou nekonkurenceschopnost.
- **Kvalitní vzdělání a efektivní rekvalifikace** – usilovat o to, aby pracovní síla v Česku odpovídala potřebám budoucnosti.

Poznámky ke kapitole

- Různé zdroje se liší v tom, co všechno do emisí z průmyslu započítávají. Tato publikace jako průmysl chápe těžbu, zpracovatelský průmysl a stavební činnosti (v kódech klasifikace ekonomických činností NACE B, C, F). Výrobou elektřiny a tepla stejně jako odpadovým hospodářstvím a jejich emisemi se zabývají jiné kapitoly. Do průmyslových emisí jsou zde tedy započítány také emise z těžby, výroby a přepravy paliv (uhlí, koksu, benzínu, zemního plynu) a emise vznikající při neenergetickém použití průmyslových výrobků (především úniky F-plynů).
 - Národní inventarizační dokument, který používá standardizovaný systém Common Reporting Framework (CRF), zřetelně odděluje emise pocházející z výrobních procesů a použití výrobků (kategorie CRF2) a emise pocházející ze spalování fosilních paliv (kategorie CRF1). Emise související s úniky F-plynů, spojené především s provozem a likvidací chladicích zařízení, jsou v této publikaci samostatnou kategorií. Podobně jsou samostatně uvedeny též emise metanu, jež vznikají při těžbě uhlí a přepravě ropy a zemního plynu, a nejsou tedy přímo důsledkem spalování fosilních paliv. Emise z výroby pevných paliv (především koksu) jsou započítány ve výrobě oceli (koks se spaluje ve vysokých pecích), emise ze spalování fosilních paliv při rafinaci ropy jsou započítány do emisí chemického průmyslu.
 - Včetně stavitelství, bez zahrnutí výroby elektřiny a tepla. Jde o údaje od ČSÚ za rok 2022.
 - Nejčastěji používané standardy emisního účetnictví jsou ISO 14064 a GHG Protocol. S emisním účetnictvím souvisí také nastavování cílů dekarbonizace (či obecněji udržitelnosti) v jednotlivých firmách – s tím pomáhá například organizace Science Based Targets initiative (SBTi).
- Emisní účetnictví lze ilustrovat na příkladu ocelárny. Scope 1 emise vznikají přímo v ocelárně při tavení a redukcí železné rudy ve vysoké peci. Scope 2 emise vznikají v elektrárnách a teplárnách kvůli dodávkám elektřiny a dálkového tepla do ocelárny. Scope 3 upstream emise vznikají např. při těžbě a dopravě uhlí a železné rudy, zatímco downstream emise např. při dopravě oceli k odběratelům a při jejím dalším zpracování.
- Podobně třeba továrna na výrobu osobních automobilů může mít Scope 1 i 2 emise poměrně nízké, ovšem Scope 3 emise velmi vysoké. Upstream zahrnuje emise při výrobě surovin jako oceli, plastů či skla stejně jako emise při výrobě strojů a robotů do továrny. Downstream zahrnuje emise spojené s dopravou a prodejem aut, ale hlavně emise spojené s používáním aut (tedy při spalování pohonných hmot, jež auta během své životnosti spotřebují). Automobilka tak může snižovat Scope 1 a 2 emise modernizací a energetickými úsporami, upstream emise nákupem nízkemisní oceli či plastů, zatímco downstream emise může snížit přechodem na elektromobilitu.
- Konkrétní odhady Green Premium pro nízkemisní ocel ukazuje pro různé světové regiony na s. 88 studie [International Energy Agency. \(2024\). Global Hydrogen Review 2024.](#) [Dostupné online]
 - Často se sice mluví souhrnně o dekarbonizaci průmyslového tepla, ve skutečnosti však jednotlivé typy výrobních procesů mají dost odlišná technologická specifika, která musí být brána v potaz. V poslední době se navíc významně posunul vývoj tepelných čerpadel schopných dosahovat teplot až 200 °C a také dalších technologií, jež je dnes možné při výrobě průmyslového tepla použít.
 - [Fraunhofer ISI. \(2024\): Direct electrification of industrial process heat. An assessment of technologies, potentials and future prospects for the EU.](#) Agora Industry. [Dostupné online]
 - [Rosenow, J. a Oxenaar, S. \(2025\). Opportunities for heat electrification and energy efficiency in European industry.](#) Nat. Rev. Clean Technol. [Dostupné online]

- [Rosenow, J., Oxenaar, S. a Pusceddu, E. \(2024\). Some like it hot: Moving industrial electrification from potential to practice.](#) [Dostupné online]
- Poměr 60 % procesních emisí a 40 % emisí ze spalování fosilních paliv (včetně výroby koksu) zhruba odpovídá emisním datům v Česku za rok 2022. Celkové emise CO₂ z výroby oceli byly v Česku téměř 9 Mt (opět včetně emisí z výroby koksu), což představuje cca 7 % z celkových emisí skleníkových plynů Česka v roce 2022. Vzhledem k tomu, že v roce 2024 ukončila výrobu Liberty Ostrava, emise CO₂ z výroby oceli v Česku se posléze od roku 2024 výrazně snížily.
 - [Český hydrometeorologický ústav. \(2024\). Národní inventarizační dokument České republiky 2024.](#) [Dostupné online]

IEA udává přímé emise z výroby oceli ve světě ve výši 2,6 Gt CO₂ v roce 2019. To odpovídá zhruba 4–5 % celkových emisí skleníkových plynů ve světě. Pokud by se ale započítaly i nepřímé emise spojené s výrobou energií, narostly by podle IEA emise ocelářského průmyslu ve světě o další 1,1 Gt CO₂.

- [International Energy Agency. \(2020\). Iron and Steel Technology Roadmap.](#) [Dostupné online]

IEA uvádí emisní intenzitu výroby oceli ve výši 1,41 t CO₂ na tunu vyrobené oceli v roce 2022.

- [International Energy Agency. \(2023.\) Steel.](#) [Dostupné online]

- [Audenaerde, T. V. a Gulgulia, A. K. \(2024\). Strategic scrap: The future of green steel.](#) [Dostupné online]
- K aktuálním diskuzím o nejvhodnějších cestách k dekarbonizaci výroby oceli a obtížím se zaváděním technologie CCS v ocelářství viz např.:
 - [Nicholas, S. a Basirat, S. \(2024\). Steel CCUS update: Carbon capture technology looks ever less convincing.](#) Institute for Energy Economics and Financial Analysis. [Dostupné online]
 - [Transition Asia. \(2024\). Carbon capture in the steel sector; BF-BOF abatement.](#) [Dostupné online]
- Při výrobě cementu jsou procesní emise ve výši 50–60 % a emise ze spalování fosilních paliv ve výši 35–40 %.
 - [Pitre, V., La, H. a Bergerson, J.A. \(2024\). Impacts of alternative fuel combustion in cement manufacturing: Life cycle greenhouse gas, biogenic carbon, and criteria air contaminant emissions.](#) Journal of Cleaner Production, 475, 143717. [Dostupné online]

U procentního podílu emisí z výroby cementu a vápna vůči celkovým emisím v Česku jsou v této publikaci započítány pouze přímé emise průmyslových zařízení (Scope 1). Zároveň jde o odhad – reportování emisí totiž zahrnuje do jedné položky emise ze spalování paliv při výrobě cementu, vápna, skla, keramiky apod.

- [Český hydrometeorologický ústav. \(2024\). Národní inventarizační dokument České republiky 2024.](#) [Dostupné online]

Procentuální údaje pro svět mohou být matoucí také proto, že záleží na tom, z jakého celku se procenta vypočítávají. Wu et al. (2024) uvádějí, že výroba cementu ve světě způsobuje cca 7–8 % celkových emisí CO₂, což odpovídá údajům 4–5 % celkových emisí všech skleníkových plynů (CO₂eq), který je uveden v této publikaci.

- [Wu, S., Shao, Z., Andrew, R.M., Bing, L., Wang, J., Niu, L., Liu, Z. a Xi, F. \(2024\). Global CO₂ uptake by cement materials accounts 1930–2023.](#) Scientific Data, 11, 1409. [Dostupné online]

IEA uvádí emisní intenzitu výroby cementu ve výši 0,58 t CO₂ na tunu vyrobeného cementu v roce 2022.

- [International Energy Agency. \(2023.\) Cement.](#) [Dostupné online]

- Podle výrobců cementu tvořila v roce 2022 alternativní tuhá paliva a použité pneumatiky už přes 45 % používaných paliv. Tento trend nahrazování uhlí má dále pokračovat. [Svaz výrobců cementu ČR. \(2023\). Data 2022.](#) [Dostupné online]
- Možnosti dekarbonizace výroby cementu (včetně nahrazování slínku a hledání cementů nového složení) podrobně popisují např.:
 - [World Economic Forum \(2023\). Cement Industry Net-zero Tracker.](#) [Dostupné online].
- [Heidelberg Materials. \(2025\). World premiere at Heidelberg Materials: Opening of CCS facility in Norway marks new era of sustainable construction.](#) [Dostupné online]
- Viz Leilac. [Dostupné online]

- Evropská environmentální agentura uvádí, že 67 % skleníkových plynů v chemickém průmyslu v EU pochází ze spalování paliv a 33 % z průmyslových procesů a užívání výrobků.

- [European Environment Agency. \(2025\). Total greenhouse gas emissions in the chemical industry.](#) [Dostupné online]

U procentního podílu emisí chemického průmyslu vůči celkovým emisím v Česku a ve světě počítá tato publikace pouze s přímými emisemi průmyslových zařízení (Scope 1), tedy cca 5,9 Mt CO₂eq v Česku v roce 2022 a 1,8 Gt CO₂eq ve světě v roce 2020. Odhady celkových emisí chemického průmyslu se jinak významně liší v závislosti na tom, co vše se zařazuje do chemického průmyslu a zda se uvažuje pouze o přímých emisích průmyslových zařízení (Scope 1) nebo jsou zahrnuty také emise nepřímé, spojené např. s výrobou elektřiny (Scope 2), či dokonce další emise celých dodavatelských řetězců (včetně těžby a dopravy ropy – Scope 3). Např. Bauer et al. (2023) uvádějí světové emise petrochemického průmyslu v roce 2020 ve výši 1,8 Gt CO₂eq pro Scope 1 a dalších 1,8 Gt CO₂eq pro Scope 2. To odpovídá cca 3 % pro Scope 1 a 6 % světových emisí skleníkových plynů pro Scope 1 a 2 dohromady. Oproti tomu IEA uvádí, že přímé emise z výroby primárních chemických látek (což ale nezahrnuje celý chemický průmysl) byly v roce 2022 ve světě ve výši necelé 1 Gt CO₂eq, tedy necelá 2 % všech emisí skleníkových plynů.

- [Český hydrometeorologický ústav. \(2024\). Národní inventarizační dokument České republiky 2024.](#) [Dostupné online]
- [Bauer, F., Tilsted, J. P., Pfister, S., Oberschelp, Ch. a Kulionis, V. \(2023\). Mapping GHG emissions and prospects for renewable energy in the chemical industry.](#) Current Opinion in Chemical Engineering, 39, 100881. [Dostupné online]
- [International Energy Agency. \(2023.\) Chemicals.](#) [Dostupné online]

- Z celkové světové výroby 97 Mt vodíku v roce 2023 tvořil nízkemisní vodík jen asi 1 %. Stávající výroba 1 tuny šedého vodíku pomocí zemního plynu vede k emisím 10–12 t CO₂ na tunu vodíku, včetně upstream emisí při těžbě a přepravě zemního plynu. Elektrolýza by vedla ke srovnatelným emisím jako výroba šedého vodíku při emisní intenzitě elektřiny okolo 200–240 g CO₂/kWh (v Česku je v současnosti průměrná emisní intenzita elektřiny asi dvojnásobná, proto se zde dnes výroba vodíku pomocí elektřiny ze sítě emisně zdaleka nevyplatí). Také z tohoto důvodu současná evropská regulace obnovitelného vodíku (RFNBO) požaduje nové zdroje obnovitelné elektřiny, které jsou určeny jen pro elektrolýzu. Všechna tato čísla vycházejí ze studie IEA. (2024). [Global Hydrogen Review 2024.](#) [Dostupné online]
- Odhady, kolik nízkemisního vodíku je potřeba pro dosažení klimatické neutrality, se liší: IEA udává v Net Zero Scenario přibližně 400 mil. tun (podobně jako BloombergNEF), zatímco McKinsey&Company

ve scénáři Net Zero udává až 600 mil. tun ročně. V méně úspěšných scénářích dekarbonizace je výroba vodíku výrazně nižší, např. McKinsey&Company ve scénáři Fading Momentum udává jen cca 125 mil. tun ročně, BloombergNEF v Economic Transition Scenario udává cca 150 mil. tun ročně.

- [IEA. \(2023\). Global hydrogen demand in the Net Zero Scenario, 2022–2050.](#) [Dostupné online]
- [BloombergNEF. \(2024\). New Energy Outlook 2024.](#) [Dostupné online]
- [McKinsey&Company. \(2024\). Global Energy Perspective 2023: Hydrogen outlook.](#) [Dostupné online]

- Pro ilustraci: kamionová cisterna běžně přepraví 26 tun benzínu, stejná cisterna by ale mohla přepravit jen asi 3 kg plynného vodíku (za normálního tlaku). Stlačený či zkapalněný vodík (na –253 °C) by množství přepravovaného vodíku navýšilo na 1 až 2 tuny, ale i tak by se oproti benzínu přepravilo méně než čtvrtinové množství energie.

- Tento odhad udává [BloombergNEF. \(2025\). Hydrogen Levelized Cost Outlook 2025.](#) Cena výroby velmi záleží na lokalitě (na podmínkách pro výrobu obnovitelné elektřiny, případně na podmínkách pro CCS).

- Podle zprávy [Global CCS Institute. \(2024\). The Global Status of CCS 2024.](#) [Dostupné online] docházelo v tomto roce k zachycování 51 Mt CO₂ ročně v 50 různých zařízeních. Dalšíh 578 nových zařízení, která mají zachytit 365 mil. tun CO₂ ročně, bylo v roce 2024 v různých fázích plánování a výstavby.

- Například IEA v Net Zero Roadmap 2023 uvádí zachycování cca 1000 mil. tun CO₂ ročně v roce 2030 a cca 6 000 mil. tun ročně v roce 2050. IPCC ve svých scénářích pracuje s ještě větším rozptylem hodnot zachycovaného CO₂.

- [International Energy Agency. \(2023\). Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach. 2023 Update.](#) [Dostupné online]
- [Intergovernmental Panel on Climate Change. \(2022\). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to AR6.](#) [Dostupné online]

- Zkratka BECCS znamená bioenergie se zachytáváním a ukládáním CO₂ (Bioenergy with Carbon Capture and Storage). BECCS zahrnuje různé způsoby výroby energie z biomasy, při kterých se zachycuje uvolňované CO₂ podobně jako v případě technologie CCS. Protože biomasa při svém růstu do sebe CO₂ už absorbovala, v celkovém součtu tak má tato technologie odebírat CO₂ z atmosféry.

- [BloombergNEF. \(2023\). CCUS Market Outlook 2023.](#) [Dostupné online]

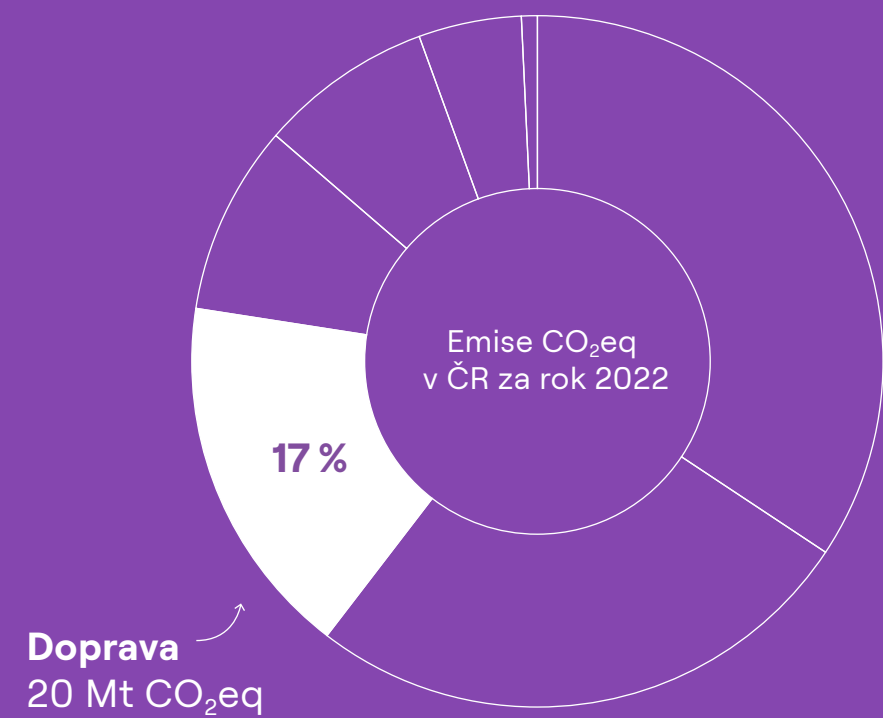
- [European Commission. \(2024\). Towards an Ambitious Industrial Carbon Management for the EU. COM\(2024\) 62 final.](#) [Dostupné online]

- [Ministerstvo životního prostředí. \(2025\). Akční plán rozvoje technologií zachytávání, využití a ukládání oxidu uhličitého v ČR.](#) [Dostupné online]

- Žebřík CCS pro dekarbonizaci průmyslu je zde zjednodušený a ukazuje pouze některé průmyslové aplikace CCS. I když byl žebřík vytvořen specificky pro podmínky v USA, lze předpokládat, že do značné míry odpovídá i situaci v Evropě.

- [Pisciotta, M., Swett, S., Pilorgé, H., Patel, S. a Wilcox, J. \(2024\). U. S. CCS Ladder for Industrial Decarbonization.](#) Kleinman Center for Energy Policy. [Dostupné online]

- Globální trh bez celních bariér obecně vede k efektivní alokaci zdrojů a tedy i k levnějšímu zboží pro spotřebitele po celém světě.



Doprava

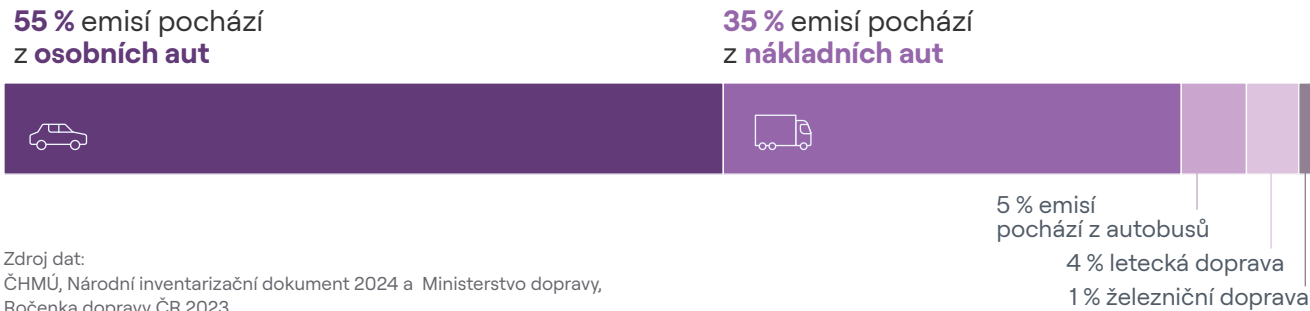
Závislost dopravy na spalování fosilních paliv

Emise skleníkových plynů z dopravy vznikají především spalováním benzínu a nafty. Minimalizovat tyto emise tedy znamená přestat spalovat fosilní paliva v dopravních prostředcích. Možným řešením je elektrifikace, doplněná o rozvoj hromadné dopravy.

PROBLÉM

Téměř všechny emise skleníkových plynů z dopravy v Česku vznikají na silnicích

EMISE Z DOPRAVY V ČR V ROCE 2022 (20 Mt CO₂eq)



Další problémy spojené s dopravou

Kromě emisí skleníkových plynů vznikají v dopravě i jiné škodliviny, hluk, na mnoha místech komplikují lidem život také dopravní zácpy. I s těmito problémy mohou pomoci změny uvedené vpravo.

ŘEŠENÍ

Elektrifikace dopravy

B Elektrifikace

Ta v současnosti už probíhá – v mnoha zemích světa už dnes elektroauta tvoří významný podíl nově zakoupených vozů.

V Česku je pro další rozvoj elektromobility potřeba vybudovat dobíjecí infrastrukturu, která zajistí pohodlné a dostupné nabíjení pro všechny uživatele.

Zároveň je nutné, aby byl k dispozici dostatek nízkoemisní elektřiny – jinak se elektrifikací emise skleníkových plynů příliš eliminovat nepodaří.

Bez čeho se emise snížit nepodaří¹

Co dalšího by velmi pomohlo

Změna dopravních módů

F Změny spotřebitelského chování

Část individuální dopravy lze převést na hromadnou, tedy na vlaky a autobusy. Výhodou hromadné dopravy je její mnohem nižší emisní intenzita. Také v nákladní dopravě je možné hledat způsoby, jak přepravit více zboží vlaky (místo kamiony). To se ovšem neobejde bez investic do infrastruktury.

Pokud bude systém veřejné dopravy a infrastruktury navržen dobře, bude stačit méně osobních aut, což zároveň uleví dopravním zácpám ve městech a sníží celkovou spotřebu energie v dopravě.

Nižší potřeba se někam přepravovat

F Změny spotřebitelského chování

Pokud se zvýší dostupnost služeb díky chytrému designu měst (snadno dostupné školy, obchody a instituce), může to mírně snížit nutnost cestovat. Co lidé potřebují, bude blíž a snadněji dosažitelné. Kromě toho bude možné u stále více profesí využít efektivní práci na dálku.

Doprava a emise skleníkových plynů

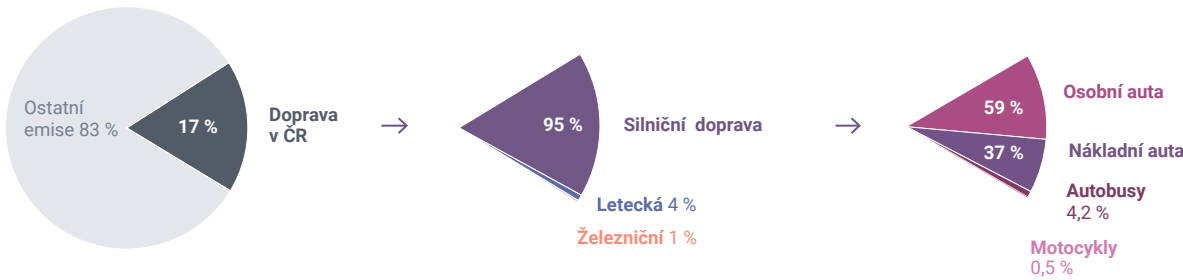
Naprostá většina emisí skleníkových plynů z dopravy vzniká na silnicích, přičemž největší podíl mají osobní auta. V kontextu celé Evropy tvoří asi čtvrtinu emisí také letadla a lodě.

V Česku se na emisích z dopravy nejvíce podílejí osobní auta

V Česku produkuje sektor dopravy **17 % všech emisí** (20 Mt) skleníkových plynů.

95 % emisí z dopravy vzniká v Česku v **silniční dopravě**.

Většinu emisí CO₂ v silniční dopravě vytvářejí **osobní auta – téměř 60 %**.

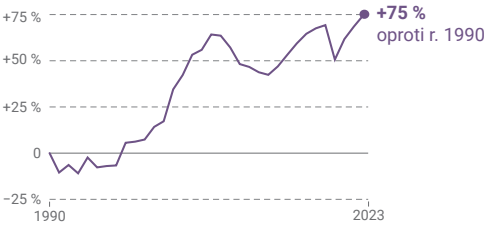


Zdroj dat: Ministerstvo dopravy, Ročenka dopravy ČR 2023 (data za rok 2022)

Emise skleníkových plynů z dopravy v Česku stále rostou

Na rozdíl od většiny jiných sektorů, kde emise CO₂ v posledních desetiletích v Česku postupně klesají, v dopravě značně narostly – mezi lety 1990 a 2023 o celých 75 %.

Hlavní příčinou tohoto nárůstu je **výrazné zvýšení počtu aut** na silnicích. V Česku je v současnosti registrováno přes 6 a půl milionu osobních aut (v roce 1993 jich bylo méně než 3 miliony). Jejich průměrné stáří převyšuje 16 let. Průměrný roční nájezd je cca 11 000 km.²



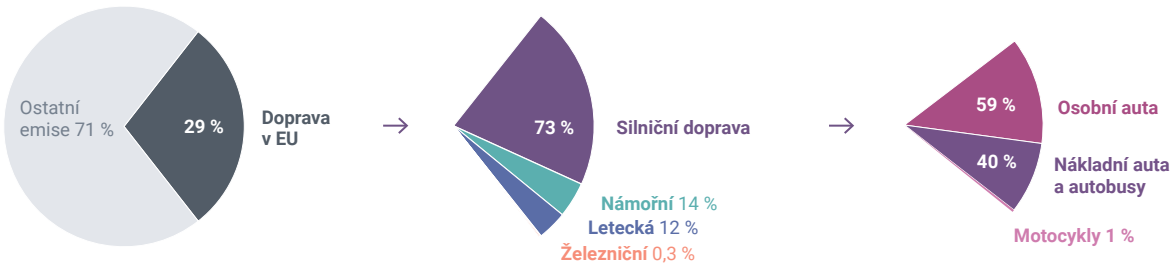
Zdroj dat: Eurostat, Greenhouse gas emissions by source sector (dataset nrg_bal_c)

V Evropě se na emisích z dopravy podílejí také lodě a letadla

V **Evropské unii** vzniká v sektoru dopravy téměř **30 % všech emisí** (1044 Mt) skleníkových plynů.

Tři čtvrtiny z toho produkuje **silniční doprava**. Zbývající čtvrtinu tvoří dohromady doprava letecká a lodní. Emise z železniční dopravy jsou zcela minimální.

Osobní auta vytvářejí největší část emisí ze silniční dopravy – téměř 60 %. S odstupem pak následují nákladní auta a autobusy.



Zdroj dat: Eurostat, Greenhouse gas emissions by source sector (dataset nrg_bal_c, data za rok 2022)

Námořní a letecká doprava

Vytváří dohromady zhruba čtvrtinu emisí CO₂ z dopravy v Evropě. Tyto druhy dopravy prakticky nejde elektrifikovat a za vhodnou cestu jejich dekarbonizace se považují biopaliva či syntetická paliva.³ Vzhledem k tomu, že v Česku je podíl jejich emisí zanedbatelný, se jim tato publikace nevěnuje.

Různé druhy dopravy: jiné emise a přepravní výkon

Nejvyšší emisní intenzitu má přeprava auty, nejnižší přeprava vlaky. Platí to pro osobní i nákladní dopravu.

V nákladní dopravě v Česku mají největší emisní intenzitu auta

PŘEPRAVNÍ VÝKON



EMISE



V nákladní dopravě se přepravní výkon měří v **tunokilometrech**.

1t ×1 km

1 tunokilometr (tkm) = přeprava 1 tuny nákladu na vzdálenost 1 km

Zdroj dat: Ministerstvo dopravy, Ročenka dopravy ČR 2023

PODLE PRŮMĚRNÉ EMISNÍ INTENZITY



Nákladní auta zajišťují 80 % přepravního výkonu v Česku, ale způsobují 98 % emisí CO₂ nákladní dopravy. Obecně platí, že větší auta uvezou více nákladu, což snižuje emisní intenzitu tohoto typu přepravy.

Průměrná emisní intenzita v ČR: 102 g CO₂/tkm

Průměrné emisní intenzity uváděné na této stránce jsou vypočteny z údajů v Ročence dopravy České republiky 2023.

Množství emisí na osobokilometr nebo tunokilometr ale závisí na více parametrech. Kromě technického stavu a stáří vozidla je hlavním parametrem obsazenost. Pro plně obsazený autobus může emisní intenzita být okolo 20 g CO₂/oskm, pro téměř prázdný okolo 200 g CO₂/oskm. Záleží také na typu vozidla. Emisní intenzita plně naložených kamionů je v rozsahu 50–100 g CO₂/tkm, kdežto u malých dodávek je v rozsahu 100–200 g CO₂/tkm.



Nákladní vlaky se na přepravním výkonu v Česku podílejí 20 %, produkují však jen 2 % emisí CO₂. Jejich nízká emisní intenzita vyplývá z toho, že většinou jezdí na elektřinu a vlak na kolejích překonává menší odpor než nákladní auta na silnici.⁴

Průměrná emisní intezita v ČR: 7 g CO₂/tkm

V osobní dopravě v Česku mají největší emisní intenzitu auta

PŘEPRAVNÍ VÝKON



EMISE



V osobní dopravě se přepravní výkon měří v **osobokilometrech**.

1 ×1 km

1 osobokilometr (oskm) = přeprava 1 osoby na vzdálenost 1 km

Zdroj dat: Ministerstvo dopravy, Ročenka dopravy ČR 2023

PODLE PŮMĚRNÉ EMISNÍ INTENZITY



Osobní auta zajišťují 71 % přepravního výkonu v Česku a vytvářejí 85 % emisí CO₂ osobní dopravy. Ze všech druhů osobní dopravy mají dnes nejvyšší emisní intenzitu a právě zde je tedy největší potenciál pro dekarbonizaci.

Průměrná emisní intenzita v ČR: 132 g CO₂/oskm



Až na druhém místě v průměrné emisní intenzitě v Česku jsou v současnosti **letadla**. Mimo jiné je to dáno i tím, že letadla cestují převážně plně obsazená – na rozdíl od aut.⁶

Průměrná emisní intenzita v ČR: 92 g CO₂/oskm



Autobusy by při odbavení stejného přepravního výkonu vytvořily zhruba 2× méně emisí než osobní auta.

Průměrná emisní intenzita v ČR: 60 g CO₂/oskm



Jednoznačně nejnižší emisní intenzitu má v Česku cestování **vlaky**. Podobně jako v nákladní dopravě je to i zde dáno jejich energetickou efektivitou a elektrifikací tratí.⁵

Průměrná emisní intenzita v ČR: 12 g CO₂/oskm

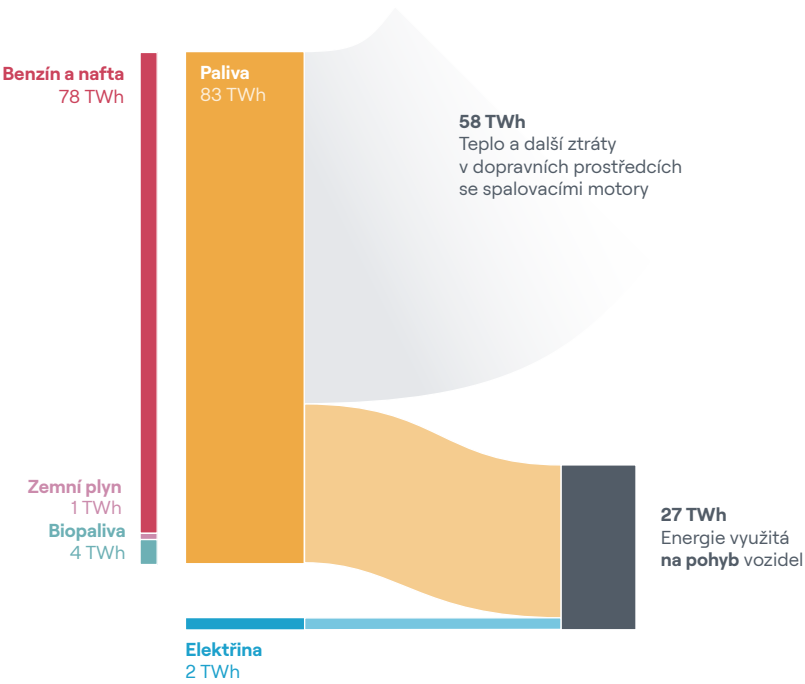
Spotřeba energie v dopravě

Elektrifikace dopravy může díky využití efektivnějších technologií přinést obrovské energetické úspory. Velikost těchto úspor bude záviset na míře elektrifikace a používaných dopravních prostředcích.

Většina spotřebované energie v dopravě dnes končí jako tepelné ztráty

Celková spotřeba energie v dopravě v Česku je cca **85 TWh za rok**. Pouze necelá třetina z toho se ale skutečně využije na pohyb vozidel – přes dvě třetiny se ztratí, hlavně jako teplo vznikající při spalování benzínu a nafty v motorech.

Pro představu: 58 TWh takto ztracené energie více než dvojnásobně převyšuje celkové teplo dodávané teplárnami v Česku.



Zdroj dat: Eurostat, Complete energy balances a vlastní zpracování⁷

Elektrifikace dopravy přinese obrovské energetické úspory

Naprostá většina dopravních prostředků (osobní a nákladní auta, vlaky, autobusy atd.) bude pravděpodobně jezdit na elektřinu. Díky používání elektromotorů se energetické ztráty v dopravě podstatně sníží.

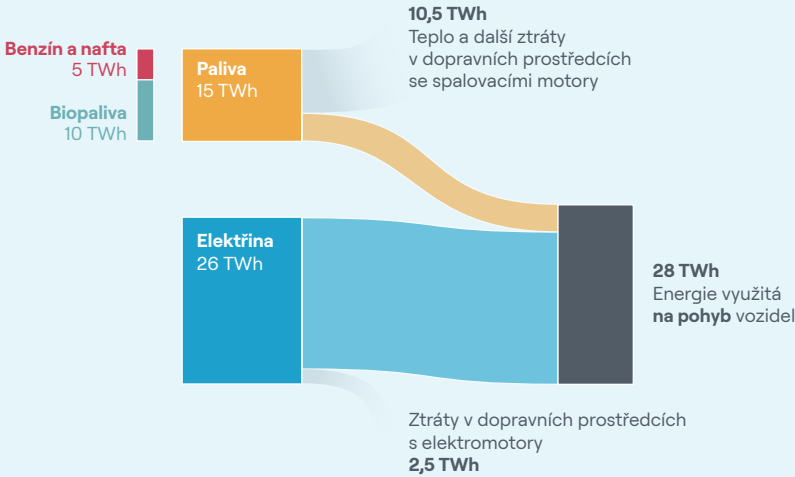
Celková roční spotřeba energie v dopravě tak může klesnout na polovinu (na cca 41 TWh) i při dalším drobném nárůstu objemu dopravy.

Malá část dopravních prostředků (těžká nákladní doprava apod.) bude nejspíše dále využívat spalovací motory poháněné biopalivy či biometanem⁸ nebo běžným benzínem a naftou. Elektrifikace těchto vozidel bude pravděpodobně narážet na technické obtíže a byla by velice drahá.

S větší elektrifikací a vlaky by to šlo ještě úsporněji

Zde uvedený scénář je spíše konzervativní. Předpokládá, že část těžké, hlavně nákladní dopravy bude dále využívat spalovací motory. Pokud by se i tuto dopravu podařilo alespoň částečně elektrifikovat, energetické úspory by byly ještě vyšší.

Scénář také počítá pouze s energetickými úsporami zapříčiněnými výměnou dopravních prostředků se spalovacími motory za dopravní prostředky s elektromotory. Kdyby se ale zároveň část silniční dopravy přesunula na železnici (tzv. modal switch), spotřeba energie by dále poklesla. Přeprava po elektrifikované železnici má cca 3× nižší spotřebu energie než přeprava elektroauty (a cca 9× nižší než přeprava auty se spalovacími motory).⁹



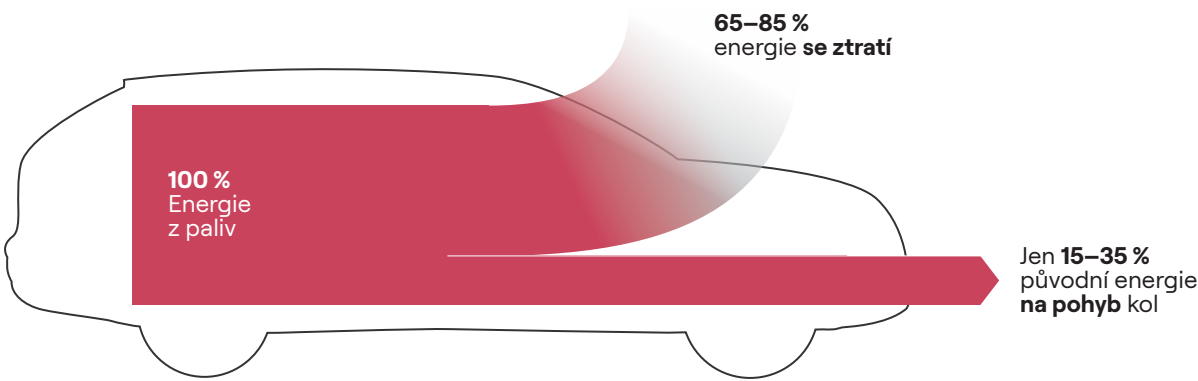
Zdroj dat: vlastní zpracování¹⁰

Srovnání efektivity aut s různým pohonem

Auto se spalovacím motorem je energeticky jen málo efektivní. Většinu energie ztrácí v motoru přeměnou na teplo. Nedokáže také rekuperovat brzdnou energii.

Auto se spalovacím motorem využije jen 15–35 % energie z paliv na pohyb

Většina energie se ve spalovacím motoru ztratí jako teplo. Další menší ztráty pak vznikají při tření v motoru, nasávání vzduchu a na dalších místech pohonné soustavy. Naftový motor je efektivnější než benzínový. Graf zahrnuje rozsah ztrát pro oba typy motoru.



Zdroj dat: fueleconomy.gov a vlastní zpracování¹¹

Kde se energie ztrácí

58–72 %

ztráty v motoru

Naprostá většina energie z paliva se ztratí jako teplo. Další ztráty způsobuje tření v motoru, nasávání vzduchu apod.

4–6 %

parazitické ztráty

Energii vytvářenou motorem využívají vodní a olejová pumpa, palivové čerpadlo, zapalování a kontrolní systém.

3–5 %

další ztráty v hnacím ústrojí

Ke ztrátám dochází také v převodovce a dalších částech převodového ústrojí.

0–2 %

pomocné využití elektřiny

Další energii vyžaduje elektrické vybavení auta jako vyhřívaná sedadla, klimatizace, zábavní systém, navigace či světla.

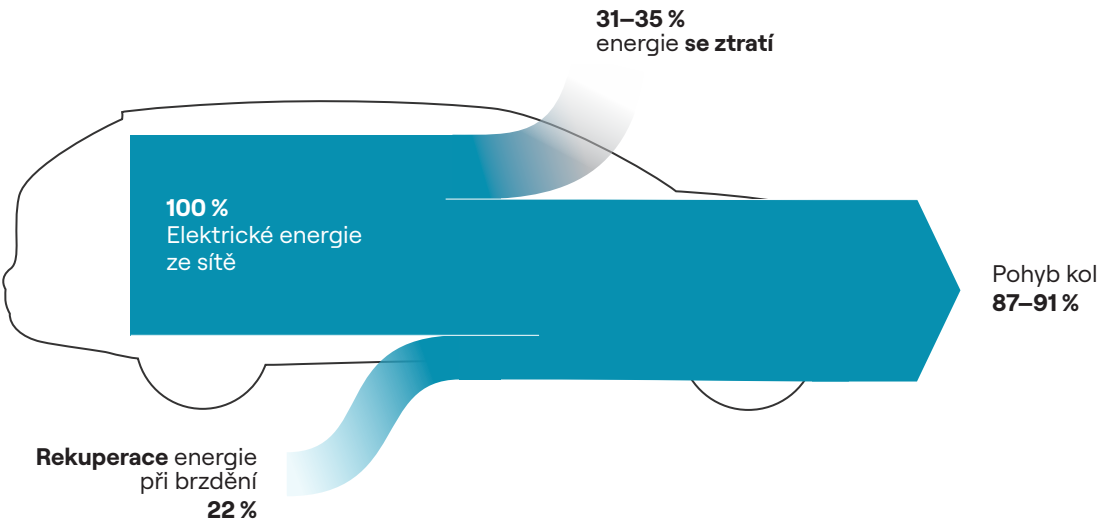
Elektroauto na ujetí určité vzdálenosti spotřebuje přibližně třetinu energie oproti autu se spalovacím motorem.

Elektroauto využije až 90 % elektrické energie na pohyb

Také v elektromobilu dochází ke ztrátám energie, ty jsou ale výrazně menší než ztráty v autě se spalovacím motorem. Je to především proto, že elektromotor nevytváří zdaleka tolik ztrátového tepla.¹² Elektromotor navíc dokáže část energie znovu zachytit (*rekuperovat*) při brzdění. To jeho energetickou efektivitu ještě zvyšuje.

Co to je to rekuperace?

Při tzv. rekuperativním brzdění začne elektromotor fungovat jako dynamo a vyrábět elektřinu, kterou dobíjí baterii. To se děje sice málo při jízdě na dálnici, ale o to více při řízení ve městě.



Zdroj dat: fueleconomy.gov¹³

Kde se energie ztrácí

18 %

ztráty v hnacím ústrojí

Část energie se ztratí v motoru a převodovce elektromobilu.

10 %

ztráty při nabíjení

Ztráty při převodu střídavého napětí ze sítě na stejnosměrné napětí v baterii a ztráty z překonávání odporu baterie při nabíjení.

3 %

ztráty příslušenství

Energii vyžaduje řízení teploty a chlazení baterie či kontrolní systémy.

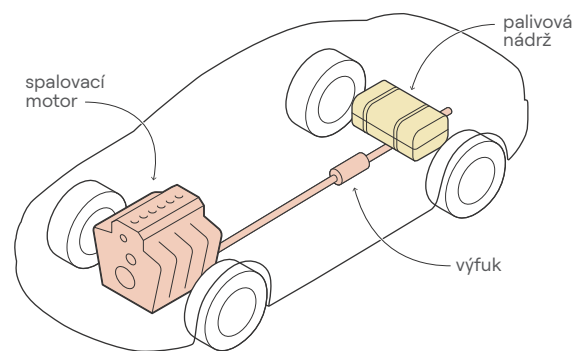
0–4 % pomocné využití elektřiny

Část elektřiny spotřebuje elektrické vybavení: vyhřívaná sedadla, klimatizace, zábavní systém, navigace, světla a další.

V čem jsou elektroauta jiná

Elektromobily vypadají na první pohled jako auta se spalovacím motorem, ale představují novou a v mnoha ohledech vyspělejší technologii. Jinak fungují a jinak se i vyrábějí.

Auto se spalovacím motorem



Energetická efektivita: Pouze kolem 15–35 % energie se přemění na pohyb, většina se uvolní jako teplo.

Konstrukce, výroba, údržba: Auto má cca 200–2000 pohyblivých součástek a 30 000 součástek celkem. Ve srovnání s elektroautem tedy vyžaduje složitější výrobní proces, údržbu a opravy.

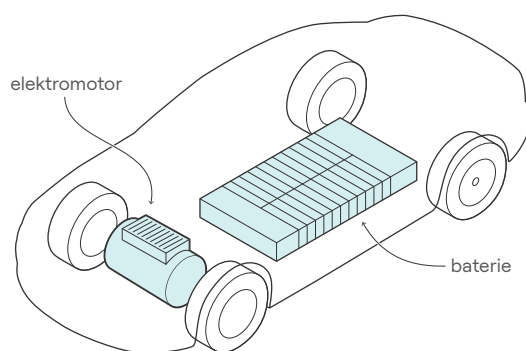
Znečištění a emise škodlivin: Při provozu se uvolňují škodlivé plyny a částice (oxidy dusíku a síry, prachové částice), které mají dopady na lidské zdraví. Motor také vytváří hlukovou zátěž.

Nároky na zdroje: Typické auto v ČR spotřebuje každý rok kolem 700 litrů benzínu nebo nafty. Ropa na jejich výrobu se do Česka musí dovážet – v současnosti to je hlavně z oblastí Kaspického a Černého moře.

Zdroj energie: Ropa. Palivo je třeba kupovat a jeho cena může být vystavena šokům v důsledku energetické či geopolitické krize.

Vývoj ceny: Neočekává se žádný významný pokles ceny.

Elektroauto



Energetická efektivita: Až kolem 90 % energie se využije na pohyb (část se znovu využije díky rekuperaci při brzdění).

Konstrukce, výroba, údržba: Auto má jen cca 20 pohyblivých součástek a 15 000 součástek celkem. Nemá výfuk, katalyzátor, olej, alternátor, převodovku s rychlostmi, startér... To významně zjednodušuje jeho výrobu a údržbu.

Znečištění a emise škodlivin: Provoz nezpůsobuje žádné emise škodlivých plynů. Hluk je minimální.¹⁴

Nároky na zdroje: Na výrobu baterie se jednorázově spotřebuje i přes 200 kg nerostů jako grafit, měď, nikl, kobalt, mangan a lithium. Po vyřazení z auta se baterie může dále využít ke skladování elektřiny pro stabilizaci sítě (viz s. 93). Na konci její životnosti se cenné kovy dají recyklovat.

Zdroj energie: Elektřina. Uživatelé mohou využívat energii vlastní výroby (ze solárních panelů) a tím provoz auta zlevnit.

Vývoj ceny: V průběhu let se cena elektroaut postupně snižuje a přibližuje se ceně aut se spalovacím motorem. V Číně jsou již elektroauta ve většině případů dokonce levnější.¹⁵

Srovnání emisí CO₂ v životním cyklu aut

Životní cyklus aut zahrnuje **emise** z jejich **výroby a provozu**. U elektroaut se zvláště provozní emise CO₂ v různých zemích značně liší. Záleží především na emisním faktoru elektřiny používané na dobíjení – čím čistší je elektřina, tím nižší jsou emise z provozu.

■ **Výfukové emise** vznikají u aut se spalovacím motorem spalováním benzínu nebo nafty při jízdě.

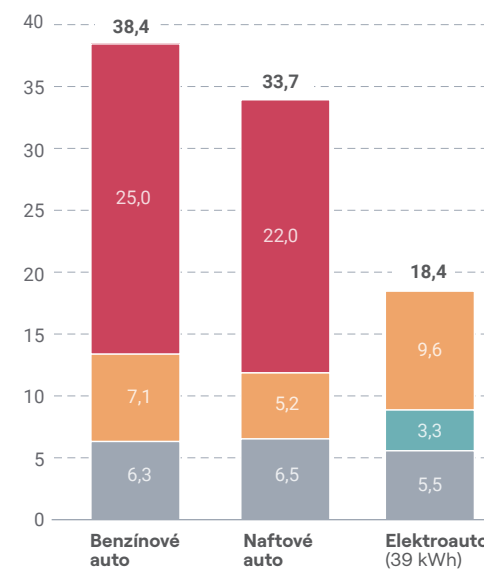
■ **Emise z výroby paliva a elektřiny:** U aut se spalovacím motorem jde o emise spojené s těžbou a výrobou paliv. U elektroaut jde o emise z výroby elektřiny (navýšené o ztráty při distribuci elektřiny a při dobíjení). Protože výroba elektřiny v Česku se také postupně dekarbonizuje, tyto emise budou v průběhu životnosti elektroauta klesat. V případě téměř úplné dekarbonizace výroby elektřiny by se tato kategorie emisí u elektroaut blížila nule. Graf napravo počítá s pozvolným poklesem emisí z výroby elektřiny o 2 % ročně.

■ **Emise z výroby baterie** závisejí na velikosti a výkonu baterie (výroba větší baterie znamená vyšší emise). Emisní náročnost výroby baterií nicméně v průběhu let postupně klesá.

■ **Emise z výroby auta** jsou u elektroauta (bez baterie) o něco menší než u aut se spalovacím motorem, protože elektroauto (bez baterie) je lehčí a konstrukčně jednodušší.

V Česku jsou dnes emise CO₂ za celý život elektroauta asi 2× nižší v porovnání s autem se spalovacím motorem. Tento rozdíl se bude každým rokem dále prohlubovat s tím, jak budou přibývat zdroje nízkoemisní elektřiny.

CELKOVÉ EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ Z VÝROBY A PROVOZU AUT, PŘI NÁJEZDU 150 000 KM¹⁶



Zdroj dat: Jaško, K. et al., Ecological impact of vehicles: A comparative study within the Czech Republic and other Visegrad 4 countries (2025)

Reálné emise u elektroaut jsou nejspíš ještě nižší

Výše uvedené údaje vycházejí ze spíše konzervativního scénáře a je pravděpodobné, že reálné emise CO₂ u elektroaut budou v Česku ještě nižší:

- Scénář předpokládá celkový nájezd auta 150 000 km. Při vyšším nájezdu budou emise CO₂ z životního cyklu auta v přepočtu na ujetý km dále klesat.
- Řada uživatelů elektroaut k dobíjení využívá přednostně obnovitelné zdroje energie (např. solární panely na střeše). To okamžitě snižuje emise CO₂ v porovnání s dobíjením elektřinou z české veřejné sítě.
- Dekarbonizace výroby elektřiny může probíhat rychleji než o 2 % ročně v uvedeném scénáři. Dobíjení elektřinou ze sítě by tak každým rokem způsobovalo ještě méně emisí.

Dobíjení elektroaut

Pro rozvoj elektromobility není limitující kapacita baterií a omezený dojezd elektroaut – naprostá většina cest autem je na krátkou vzdálenost a auta je možné dobíjet, když parkují. Klíčové bude především vybudování dostatečné infrastruktury, která umožní auta dobíjet.

Kapacita baterií je dnes už dostačující

V současnosti vyráběná elektroauta s dojezdem 300–600 km postačují pro naprostou většinu realizovaných cest.

Pro efektivní rozvoj elektromobility proto není zcela nutné dále zvyšovat dojezd elektroaut stále většími bateriemi náročnými na výrobu. Mnohem zásadnější bude vytvořit dostatečnou dobíjecí infrastrukturu,¹⁷ která bude spolehlivá a nebude znamenat komplikace na cestě nebo omezení cestovního komfortu.

OSOBNÍ AUTO V ČESKU



Parkuje denně průměrně více než 23 hodin



Ujede cca 29 km za den¹⁸

Běžné používání auta

V naprosté většině případů bude možné auto dobíjet při parkování – u domů, v práci, na veřejných parkovištích u obchodů apod. K takovému dobíjení často stačí běžná zásuvka. Za 12 hodin parkování přes noc se baterie auta dobije na více než 200 km jízdy. V současnosti ovšem taková dobíjecí infrastruktura při parkování chybí.

99 % cest

je kratších než 200 km¹⁹



1 % cest

je delších než 200 km

Cestování na velkou vzdálenost

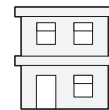
V těchto případech bude nutné baterii dobít také v některém komerčním dobíjecím místě. Rychlonabíječky už dnes většinou dobijí baterii na 80 % kapacity za 20–30 minut. V budoucnosti to nejspíš bude možné i rychleji.

Auta se ve většině případů budou moci dobíjet při parkování

Dobíjení elektroauta může v budoucnu fungovat stejně jednoduše a být stejně pohodlné, jako když dnes tankujeme benzín či naftu do auta se spalovacím motorem. Ve většině případů (při každodenním používání auta) to nejspíš bude ještě snazší.



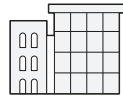
U **rodinných domů** stačí vyvést ven běžnou jednofázovou zásuvku 230 V (16 A). Výhodné je zejména nabíjení z vlastní fotovoltaiky: auto s průměrným nájezdem zvládnou v Česku **od března do září** dobít panely o rozměru cca 11 m² (výkon 2 kWp).



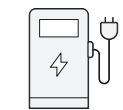
U **bytových domů** mohou být k budování zásuvek využity nové silné vodiče z kabelových tras veřejného osvětlení (tzv. „nabíjení z lamp“). Zásuvky bude ovšem nutné vybavit softwarem, který umožní řízené nabíjení podle aktuálního stavu spotřeby elektřiny v okolí.



Také **parkoviště** u obchodů, restaurací, hotelů, kin, sportovišť a dalších poskytovatelů služeb mohou být vybavena nabíječkami, jež zákazníkům dobijí auta během parkování. Pro poskytovatele služeb může být tato možnost konkurenční výhodou oproti poskytovatelům bez nabíječek. Postupem času se z toho ale může stát standard a podnikatelská nutnost.



V **práci** může být parkování spojeno s nabíjením, ať už v podobě běžných zásuvek, nebo rychlejších, ale dražších wallboxů. Výhodou parkování během dne je po většinu roku možnost bezprostředně využívat sluneční energii ze solárních panelů.



Specializovaná **dobíjecí místa** s nejvýkonnějšími nabíječkami budou postupně instalována především podél dálkových dopravních tras. Budou připomínat současné odpočívky u čerpacích stanic.

Multimodalita neboli kombinování různých způsobů dopravy

Efektivita dopravního systému velmi úzce souvisí s tím, jak dobře v něm lze kombinovat různé způsoby přepravy a dopravní prostředky. Tedy například individuální dopravu s hromadnou nebo silniční dopravu s dopravou železniční. Pro takový systém se používá označení „multimodální“.

Různé dopravní prostředky mají různé výhody a mohou se doplňovat

Od dopravy lidé očekávají, že bude dostupná, pohodlná a plynulá, ale zároveň by celý dopravní systém měl spotřebovat co nejméně energie, vytvářet minimum emisí a mít optimální investiční a provozní náklady. Všechny tyto požadavky není jednoduché skloubit.

Volba nejvhodnějšího dopravního prostředku **záleží hlavně na síle dopravního toku**, tedy na počtu lidí, kteří se odněkud někam přepravují. Každý dopravní prostředek se nejvíce hodí právě pro určitý dopravní tok (a pro jiné naopak ne – viz příklady vpravo). Právě proto je často efektivní různé dopravní prostředky mezi sebou kombinovat.

Osobní automobilová doprava – efektivní na venkově na trasách, po kterých cestuje jen málo lidí (slabý dopravní tok). Autobusy nebo vlaky zde nejsou realistické (ekonomicky), a dokonce by vedly k vyšším emisím.

Hromadná silniční a kolejová doprava – velmi efektivní ve městech na trasách, kde cestuje velké množství lidí (silný dopravní tok). Individuální automobilová doprava zde způsobuje řadu problémů: vytváří zácpy, je hlučná, vzniká při ní daleko více emisí, zabírá příliš mnoho prostoru atd.

Silné dopravní toky

tisíce až statisíce osob za den

Ideálními dopravními prostředky pro silné dopravní toky jsou **vlak** a **rychlovlak** mezi městy a **tramvaje** a **metro** ve městech, tedy především elektrifikovaná hromadná kolejová doprava.

Je málo náročná na energii, nevede k dopravním zácpám a efektivně využívá vozidla a personál.

Středně silné dopravní toky

stovky až tisíce osob za den

Zde se mohou výborně uplatnit **autobusy** (v budoucnosti elektrobusy) – zvláště tam, kde kolejová doprava chybí a její výstavba se nevyplatí.

Kombinují přednosti kolejové dopravy a aut: přepraví najednou více lidí, ale není nutná investice do kolejí.

Slabé dopravní toky

desítky až stovky osob za den

Auta se pro individuální dopravu používají sice ve všech případech, skutečně efektivní jsou ale pro slabé dopravní toky. Ve městech se uplatní také chůze a jízda na kole.

Taková doprava je flexibilní, operativní a může obsloužit celé území, aniž by bylo nutné investovat do náročného systému.

Osobní doprava a role přestupních uzlů (mobility huby)

Pro další rozvoj nízkoemisní osobní dopravy je zásadní **celkový design dopravního systému a vhodné urbanistické plánování**, které počítá s **přestupními uzly** (tzv. mobility huby).²⁰ Ty umožňují pohodlné přestupy mezi různými druhy dopravy a motivují cestující co nejdříve přesednout z auta na hromadnou dopravu.



Nákladní doprava a využití překladových terminálů

Snížení emisí a vyšší efektivitu v nákladní dopravě by přineslo její **lepší propojení s elektrifikovanou železniční dopravou**.²¹ Přesun stejného nákladu vlakem ušetří ve srovnání s auty většinu spotřebované energie. Navíc by přesunutí části nákladní dopravy na železnici ulevilo i přeplněným silnicím a dálnicím.

Klíčovým prvkem tohoto systému jsou **překládové terminály**, které zároveň mohou plnit funkci distribučních center.



Kratší části cesty zboží (od výrobce do distribuce a poté doručení zákazníkovi – tzv. *first mile* a *last mile delivery*) bývají trasy dlouhé 50–100 km. Rozvoz na tuto vzdálenost **mohou zajišťovat elektrická nákladní auta** bez potřeby dobíjení na cestě. Ve městech se k doručení menších záilek hodí i nákladní kola.

Veřejná doprava a aktivní mobilita

Hromadná doprava i aktivní mobilita (chůze, jízda na kole) nejenom napomáhají dekarbonizaci dopravy, ale mají pro společnost i řadu dalších významných přínosů. Jejich rozvoj nicméně vyžaduje promyšlené urbanistické plánování a cílenou podporu.

Jaké výhody přináší hromadná doprava

Problémem současné dopravy nejsou pouze emise CO₂, ale také znečištění ovzduší, dopravní zácpy, nadměrný hluk nebo ubírání bezpečného veřejného prostoru. Hromadná doprava pomáhá tyto problémy řešit.²²

Nabízí dopravu pro všechny

Pro mnoho obyvatel (např. děti školního věku, seniory a různé znevýhodněné skupiny) představuje veřejná doprava jedinou možnost, jak se dopravit, kam potřebují. Díky tomu se mohou plnohodnotně podílet na životě společnosti. Veřejná doprava tak přispívá k prevenci před jejich sociálním vyloučením, propadem do chudoby a dalšími negativními jevy.

Spoří energii a peníze

Protože obslouží větší počet cestujících pomocí méně dopravních prostředků, vede k celkově větší efektivitě a energetickým úsporám. Také infrastruktura systému veřejné dopravy ve městě je ekonomická. A peníze ušetří i jednotlivci – zejména pokud veřejnou dopravou cestují sami (cesta autem by je vyšla draž).

Zrychluje dopravu

Zmenšuje dopravní zácpy nebo jim zcela předchází. Doprava je tak celkově plynulejší a rychlejší, což je benefit pro všechny – i pro ty, kdo cestují autem.

Nezabírá veřejný prostor

Má mnohem menší nároky na prostor – osobní auta potřebují k přepravě stejného množství osob mnohem širší ulice i více místa k parkování. Tím významně přispívá k odlišnému využití veřejného prostoru, který pak lze lépe využít pro společenský život (místa k setkávání lidí, obchody, služby) a podporu místní ekonomiky.

Snižuje emise

Díky své efektivitě vede k celkovému snížení emisí – nejenom CO₂, ale také oxidů dusíku nebo prachových částic, jež znečišťují ovzduší a vedou k tvorbě smogu. A emise lze snížit ještě více, zejména rychlou elektrifikací veřejné dopravy, včetně autobusů (ta je plně v moci provozovatele systému – měst, krajů a státu).

Prospívá zdraví

Čistší vzduch ve městech snižuje výskyt onemocnění dýchacích cest. Snížení hluku (a někdy i stresu) přispívá k větší duševní pohodě. Cestování hromadnou dopravou vyžaduje po lidech více aktivního pohybu.

Umožňuje kvalitně využít čas

Cestující mají více času k dispozici a mohou se rozhodnout, jak s ním naloží. Podle povahy dopravního prostředku si mohou číst, sledovat videa, poslouchat hudbu, pracovat na počítači, odpočívat apod.

Jak podpořit, aby veřejná doprava byla atraktivní

Větší míra využívání veřejné dopravy není jen otázkou volby jednotlivců, je to i otázka designu celého dopravního systému. Atraktivita veřejné dopravy je tedy spojena i s mnoha rozhodnutími na státní, krajské i obecní úrovni a vzniká kombinací vhodné urbanistické koncepce, plánování dopravního systému a veřejné podpory. Na co se zaměřit především?

Zvýšit četnost spojů

Lidé budou používat hromadnou dopravu, pokud jim poskytne dostatek spojů tam, kam potřebují jezdit, a v době, kdy to potřebují (včetně večerů a víkendů). Velký psychologický blok pro cestující zmizí ve chvíli, kdy je doprava tak častá, že odpadá nutnost ji plánovat.

Nabídnout výhodnou cenu

Hromadná doprava se stane vyhledávanější, když nabídne zřetelně nižší cenu oproti jízdě osobním autem. To by mělo platit nejenom při cestě pro jednu osobu, ale také pro celou rodinu nebo jinou skupinu.

Jezdit včas

Pro cestující je silně demotivující, pokud na veřejnou dopravu není spolehnutí. Především zpoždění a ujeté navazující spoje vyvolávají u lidí pocity nejistoty a nepředvídatelnosti hromadné dopravy.

Zajistit čistotu, pohodlí a pocit bezpečí

Tedy cestování, které je pohodlné a příjemné, minimalizuje únavu a stres, a to jak po fyzické stránce (prostor, teplota, místa k sezení), tak po stránce psychické (osobní prostor a soukromí, čistota, pocit bezpečí, příjemné vystupování dopravního personálu).

Umožnit přestup z aut

Dopravní systém by měl umožňovat snadno a co nejdříve přestoupit z aut na hromadnou dopravu. Přestupní místa tak musí disponovat malými parkovišti K+R na krátké zastavení a zároveň levnými záchytnými parkovišti (s dostatečnou kapacitou) na nádražích či okrajích měst.

Zlepšit návaznosti

Jednotlivé části cesty s přestupy by na sebe měly časově co nejlépe navazovat, i když je zajišťují různé dopravci. Toho není možné dosáhnout bez funkčního integrovaného dopravního systému.

Zařídit přednostní průjezd

Veřejná doprava by měla být co nejrychlejší. Tomu lze pomoci upřednostňováním průjezdu vozidel veřejné dopravy před ostatními dopravními prostředky na křižovatkách – pomocí zvláštních jízdních pruhů vyhrazených pro hromadnou dopravu.

Stále zlepšovat uživatelský komfort

Mělo by být jednoduché mít možnost online vyhledat spojení, rezervovat cestu a bezhotovostně za ni zaplatit, včetně volby místa k sezení nebo vrácení jízdenky – ideálně včetně všech navazujících spojů. Využívání veřejné dopravy usnadňuje také přehledná struktura cen a tarifů.

Jak podpořit aktivní mobilitu (chůze, jízda na kole)

Více chodců a cyklistů do měst může přilákat jen bezpečný a přívětivý prostor, oddělený od automobilové dopravy. Vytvoření pěších zón a cyklostezek, omezení vjezdu aut do centra a podobná opatření přinášejí nejen zklidnění dopravy, ale také proměnu veřejného prostoru a větší sociální a ekonomický rozkvět ulic (obchody, kavárny nebo odpočinková místa).

Stejně jako veřejná doprava, má také aktivní mobilita kromě přínosu pro dekarbonizaci i řadu dalších benefitů, zejména pro zdraví obyvatel.

Poznámky ke kapitole

- 1 Rozdělení strategií k dekarbonizaci dopravy na elektrifikaci (změna technologií pohonu vozidel, přechod k nízkoemisním vozidlům), změnu dopravních módů a snižování dopravní poptávky je běžné v odborné a populární literatuře, včetně např. zprávy *International Transport Forum. (2023). ITF Transport Outlook 2023*. OECD Publishing. [Dostupné online]. Všechny tyto tři strategie jsou důležité a doporučení pochopitelně zahrnují všechny tři zároven. Elektrifikace může ve střednědobém horizontu proběhnout u naprosté většiny vozového parku na silnicích. Omezená je ale míra, s níž lze uplatnit proměnu dopravních módů a snížení dopravní poptávky bez negativních dopadů na prosperitu a sociální mobilitu občanů.
- 2 Více viz:
 - *ACEA. European Automobile Manufacturers' Association. (2025). Vehicles on European roads*. [Dostupné online]
 - *Cebia. (2024). Češi se ročně dostanou 515krát ke Slunci. Najedou 76 miliard kilometrů, ukázala data*. [Dostupné online]
- 3 Dosud není zcela jasné, jakým způsobem a jak rychle proběhne dekarbonizace lodní a letecké dopravy. V lodní dopravě budou pravděpodobně menší lodě na kratší vzdálenosti (včetně například trajektů) jezdit na baterie. U velkých lodí a dálkové přepravy se jako palivo bude nejspíše používat metanol (případně čpavek). Nízkoemisní metanol lze vyrobit buď biologickou cestou (např. z cukrové třtiny) nebo synteticky (s použitím zeleného nebo modrého vodíku, viz s. 139). Podobně i malá letadla na kratší vzdálenosti mohou v budoucnu pohánět baterie. Velká letadla a dlouhé vzdálenosti ale opět vyžadují nízkoemisní paliva. V případě letadel se mluví především o tzv. SAF (sustainable aviation fuel), palivu vyrobeném z odpadních olejů a dalších materiálů biologického původu, případně o syntetických palivech.
 - *Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to AR6*. [Dostupné online]
 - *Goodall, Ch. (2024). Possible: Ways To Net Zero*. Profile Books.
- 4 Emisní intenzita jednotlivých dopravních prostředků na této stránce je vypočítána pouze ze spalování paliv v jednotlivých dopravních prostředcích (tzv. emise Scope 1). Emise z využívání elektřiny, výroby dopravních prostředků, kolejí a silnic, po kterých jezdí, se započítávají do jiných sektorů. V případě vlaků zde tedy emise zahrnují emise ze spalování nafty u dieselových vlaků (Scope 1), ale ne emise z výroby elektřiny u vlaků s elektrickou trakcí (Scope 2). Někdy se ve výpočtech emisní intenzity různých dopravních prostředků používají emise zahrnující jejich celý životní cyklus, tedy včetně spotřebovávané elektřiny a výroby. I při počítání emisí z celého životního cyklu má doprava vlaky několikanásobně nižší emisní intenzitu v porovnání s dopravou auty, viz například:
 - *Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to AR6*. [Dostupné online]
- 5 Viz poznámku číslo 4
- 6 I přes velmi diskutovaný dopad letecké dopravy na klima planety obecně platí, že emisní intenzita cesty letadlem v ekonomické třídě zhruba odpovídá emisní intenzitě cesty průměrným autem na stejnou vzdálenost v případě, kdy cestuje pouze řidič. Problém letecké dopravy je spíše v tom, že často překonává velké vzdálenosti, tedy značné emise jsou spojeny s každou jednotlivou cestou. Kromě emisí CO₂ mají na oteplování planety vliv i kondenzační stopy za letadly. Výzkumy ukazují, že by tyto kondenzační stopy mohly mít na oteplování v krátkodobém horizontu větší dopad než vypuštěné CO₂ vznikající při spalování leteckého paliva. Ukazuje se také, že většina efektu těchto kondenzačních

stop na oteplování je spojena jen s malým množstvím letů. Předpokládá se, že úpravy letových tras (podle výskytu určitých meteorologických jevů během letu) či úpravy leteckých motorů by mohly většinu tohoto efektu mitigovat.

- *Teoh, R., Engberg, Z., Schumann, U., Voigt, C., Shapiro, M., Rohs, S., a Stettler, M. E. J. (2024). Global aviation contrail climate effects from 2019 to 2021*. Atmos. Chem. Phys., 24, 6071–6093. [Dostupné online]
- 7 Údaje pro současná paliva pocházejí z databáze Eurostat. *Complete energy balances (nrg_bal_c)*. European Commision. [Dostupné online]. Podíl ztrát a využívané energie je odhadem (viz následující strany publikace).
 - 8 Biopaliva až do současnosti pocházela hlavně ze zpracování řepky olejky a přimíchávala se do benzínu a nafty. Do budoucnosti se uvažuje o využití tzv. pokročilých biopaliv či biometanu, která se vyrábějí ze zbytků potravinové produkce a různých odpadů, nikoli z plodin, které lze využít na potraviny. Takovými palivy lze buď přímo pohánět spalovací motory, anebo jejich určitý podíl opět přimíchávat do benzínu a nafty.
 - 9 Různé odhady a výpočty se drobně liší. Např. Národní akční plán čisté mobility odhaduje, že měrná přepravní energetická náročnost nákladní dopravy je u vlaků na líniově elektrifikované železnici asi 3,5× nižší než u aut na baterie a asi 8× nižší než u aut na naftu.
 - *Ministerstvo průmyslu a obchodu. (2024). 2. Aktualizace Národního akčního plánu čistá mobilita NAP CM*. [Dostupné online]
 - 10 Jde o hrubý odhad budoucí spotřeby energie v dopravě, který byl vypracován v rámci scénáře možné budoucnosti v kapitole *Přehled energetiky* (s. 39–65). Poměr mezi budoucí spotřebou biopaliv a fosilních paliv je z dnešního pohledu velmi nejistý, bude záležet na zpoplatnění uhlíku v dopravě a na poptávce po biomase v průmyslu, budovách a ve výrobě elektřiny a centrálního tepla. Podobně není z dnešního pohledu zřejmé, jaký podíl přepravního výkonu se podaří elektrifikovat.
 - 11 Elektromotory nevyužívají proces spalování, který je hlavním zdrojem tepelných ztrát u spalovacích motorů. Elektromotor je založen na principu elektromagnetické indukce, kde elektrický proud procházející cívkou interaguje s magnetickým polem a vytváří točivý moment.
 - 12 Čerpáno z dat k autu s benzínovým motorem, která jsou dostupná na americkém vládním webu *Fueleconomy.gov. Where the Energy Goes: Gasoline Vehicles*. [Dostupné online]. Jsou použita data pro spotřebu v kombinovaném provozu (jízda ve městě i mimo město). Údaj 72 % (horní hranice rozsahu ztrát v motoru) odpovídá údajům pro benzínový motor z tohoto zdroje. Údaj 58 % (dolní hranice rozsahu ztrát v motoru) je odhadem pro dieselový motor na základě jeho vyšší účinnosti.
 - 13 Čerpáno z dat pro spotřebu v kombinovaném provozu elektroaut, která jsou dostupná na americkém vládním webu *Fueleconomy.gov. Where the Energy Goes: Electric Cars*. [Dostupné online].
 - 14 Lze se setkat s tvrzeními, že elektroauta (oproti autům se spalovacími motory) produkují větší množství emisí prachových částic z otěru pneumatik a brzd, protože jsou těžší. Vědecké studie ale prokazují spíše opak. Elektroauta sice mají kvůli větší váze o něco málo více otěru z pneumatik, ale díky rekuperaci výrazně méně otěru z brzd. Tento rozdíl při brzdění je často dost markantní na to, aby to převážilo o málo vyšší otěr pneumatik.
 - *Rakha, H.A., Farag, M. a Foroutan, H. (2025). Electric versus gasoline vehicle particulate matter and greenhouse gas emissions: Large-scale analysis*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 140, 104622. [Dostupné online]

- 15 U různých segmentů výroby aut je ale situace v Číně různá. V roce 2024 byla cena elektroaut (oproti ceně srovnatelných aut se spalovacím motorem) nižší téměř o 50 % u malých aut a téměř o 20 % u velkých aut. Cena elektroauta naopak stále byla o cca 20 % vyšší u středně velkých aut.

- *International Energy Agency. (2025). Global EV Outlook 2025*. [Dostupné online]

- 16 V grafu jsou uvedeny odhadované emise pro automobil Hyundai Kona, který se vyrábí přímo v Česku s pohony na benzín, naftu a také jako elektroauto na baterie.
 - *Jaško, K., Mačák, M., Šedina, M., Máca, J., Harper, G. D.J. a Kazda, T. (2025). Ecological impact of vehicles: A comparative study within the Czech Republic and other Visegrad 4 countries*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 209, 115059. [Dostupné online].

- 17 Potřebu rozvoje dobíjecí infrastruktury v Česku na národní úrovni se z různých stran snaží řešit *Ministerstvo průmyslu a obchodu. (2024). 2. Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility NAP CM*. [Dostupné online]

- 18 Údaje o průměrné délce cest autem a průměrném denním nájezdu aut v Česku se v různých zdrojích liší, ale vždy se pohybují spíše jen v desítkách kilometrů. Podle dopravního výzkumu Česko v pohybu je průměrná délka cest autem asi 17 km u mužů a 12 km u žen. Údaj 29 km jako střední denní nájezd aut udává ve svých materiálech Jiří Pohl. Do konce i u firemních aut podle analýzy společnosti Xmarton průměrný denní nájezd nepřesahuje 110 km, většina cest je ale výrazně kratších.

- *Centrum dopravního výzkumu. (2020). Česko v pohybu. Závěrečná zpráva. Příloha č. 2: Genderové aspekty v průzkumu Česko v pohybu*. [Dostupné online]

- *Pohl, J. (2022). Role železnice v bezemisní udržitelné multimodální mobilitě*. [Dostupné online]

- *Xmarton. (2022). Využití firemních aut lehce stoupá, ale je stále jen kolem 10 %*. [Dostupné online]

- 19 To vyplývá z detailních dat z průzkumu: *Centrum dopravního výzkumu. (2020). Česko v pohybu*. [Dostupné online]

- 20 Podrobnější popis role a podoby mobility hubů v udržitelném dopravním systému přináší např. *International Association of Public Transport. (2023). Mobility hubs: Steering the shift towards integrated sustainable mobility*. [Dostupné online]

- 21 Lepší propojení železniční a silniční dopravy a rozvoj multimodálních terminálů pro překlád zboží doporučuje i *2. Aktualizace Národního akčního plánu čisté mobility NAP CM. (2024)*. [Dostupné online]

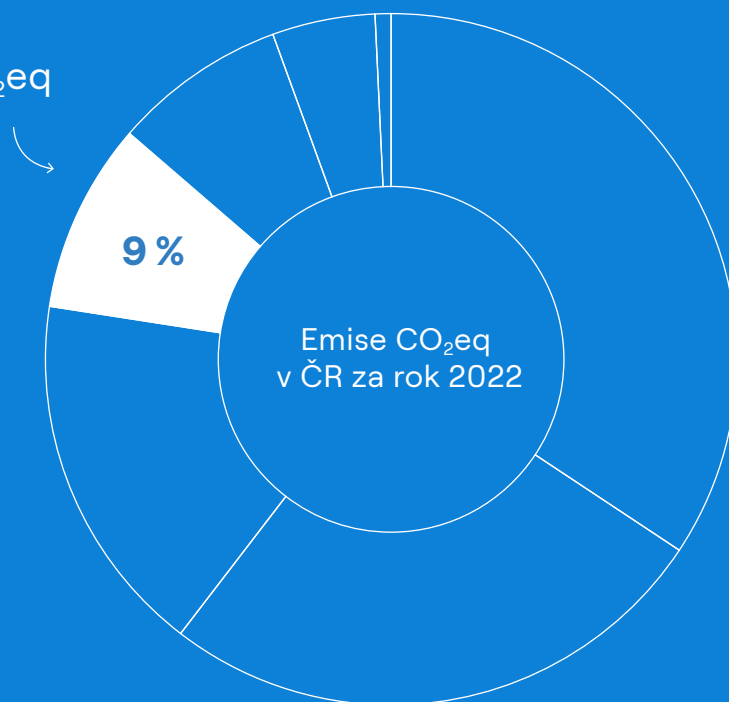
- 22 Problematice rozvoje hromadné dopravy se věnuje velké množství publikací, například:

- *Sustainable Mobility for All. (2022). How to unlock public transport for climate and sustainable development*. [Dostupné online]

- *McKinsey & Company. (2021). Urban transportation systems of 25 global cities*. [Dostupné online]

- *International Transport Forum. (2024). The Future of Public Transport Funding*. ITF Research Reports, OECD Publishing. [Dostupné online]

Budovy
11 Mt CO₂eq



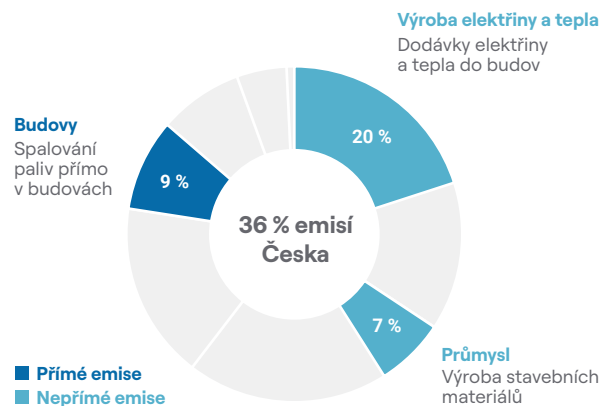
Budovy

Budovy a emise skleníkových plynů

V sektoru budov souvisejí emise skleníkových plynů s výrobou stavebních materiálů a především s provozem budov – spotřebou energie. Významná část této energie vzniká spalováním uhlí a zemního plynu, podobně jako v sektoru výroby elektřiny. Sektor budov je však mnohem roztržitější než energetika (mnoho různých budov a mnoho majitelů), což také představuje hlavní výzvu pro jeho dekarbonizaci.

S budovami je v Česku spojeno 36 % všech emisí

Převážná část z toho jsou emise spojené s provozem budovy, hlavně s produkcí elektřiny a tepla.¹ Asi pětinu tvoří tzv. zabudované emise – emise spojené s výrobou a přepravou stavebních materiálů.²



Provozní emise

Pro běžnou (typicky nezateplenou) budovu tvoří 60–80 % emisí jejího životního cyklu. Čím nižší je energetická náročnost budovy, tím je jejich podíl nižší.

Přímé emise. Vznikají spalováním zemního plynu v lokálních kotlech nebo spalováním pevných paliv jako uhlí a dřevo v kamnech a kotlech – pro vytápění nebo ohřev vody přímo v budovách. Jde o cca 9 % celkových emisí Česka (10,5 mil. tun CO₂ v roce 2022). Přibližně čtyři pětiny těchto emisí jsou spojeny s domácnostmi, jedna pětina s provozem komerčních budov a institucí.

Nepřímé emise. Vznikají spalováním uhlí, zemního plynu nebo biomasy při výrobě elektřiny nebo tepla v elektrárnách a teplárnách. Teplo je následně dodáváno do domácností nebo kanceláří prostřednictvím sítě centrálního zásobování teplem. Tyto nepřímé emise tvoří asi 20 % emisí Česka (24,1 mil. tun CO₂).

Zabudované emise

Pro běžnou budovu cca 20 % emisí životního cyklu budovy. Čím nižší je energetická náročnost budovy, tím je jejich podíl vyšší.

Nepřímé emise. Vznikají při výrobě stavebních materiálů (cement, vápno, sklo nebo ocel) – při průmyslových procesech a spalování fosilních paliv (viz s. 126–127). Tvoří orientačně 7 % emisí Česka. Dále v menší míře vznikají při přepravě stavebních materiálů a likvidaci. Jsou součástí uhlíkové stopy budovy po celou dobu její existence (proto „zabudované“).

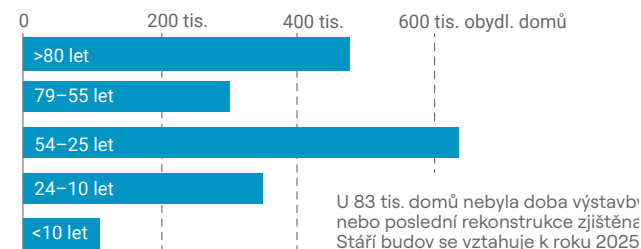
Zdroj dat: ČHMÚ, Národní inventarizační dokument 2024 a EEA, Energy-related end-user emissions

Rezidenční budovy v Česku: rodinné a bytové domy

2 mil. obydlených domů

V Česku se nachází přibližně dva miliony obydlených domů, v nichž je téměř 4,5 milionů bytů. **Domy jsou velmi různé** – od sto let starých venkovských domů, přes panelové domy po moderní novostavby. Čím je dům starší, tím je obvykle i méně zateplený, a tedy energeticky náročnější.³

DOMY DLE OBDOBÍ VÝSTAVBY NEBO REKONSTRUKCE⁴



Zdroj dat: ČSÚ, Sčítání lidu, domů a bytů 2021

1,7 mil. rodinných domů

1–3 byty v domě
2,2 mil. bytů v ČR

50 % obyvatel

200 tis. bytových domů

4 a více bytů v domě
2,2 mil. bytů v ČR

50 % obyvatel

Zdroj dat: ČSÚ, Sčítání lidu, domů a bytů 2021

Celkem 4,5 mil. bytů

64 % osobní vlastnictví/družstvo,
20 % pronájem,
16 % ostatní

Průměrně v bytě bydlí
2,3 osoby (ale nejčastěji 1)

Typická plocha je 60–80 m²

Nerezidenční budovy v Česku: kanceláře, továrny, obchody

Asi 600 000 budov

Na rozdíl od rezidenčních budov neexistují o těchto nerezidenčních přesná data, pouze odhady.⁵ Z hlediska úspor energií a emisí jsou nejdůležitější kancelářské a průmyslové budovy, dále školy a nemocnice. Naopak rekreační budovy, jako chatky, kterých je co do počtu nejvíce, hrají roli menší.

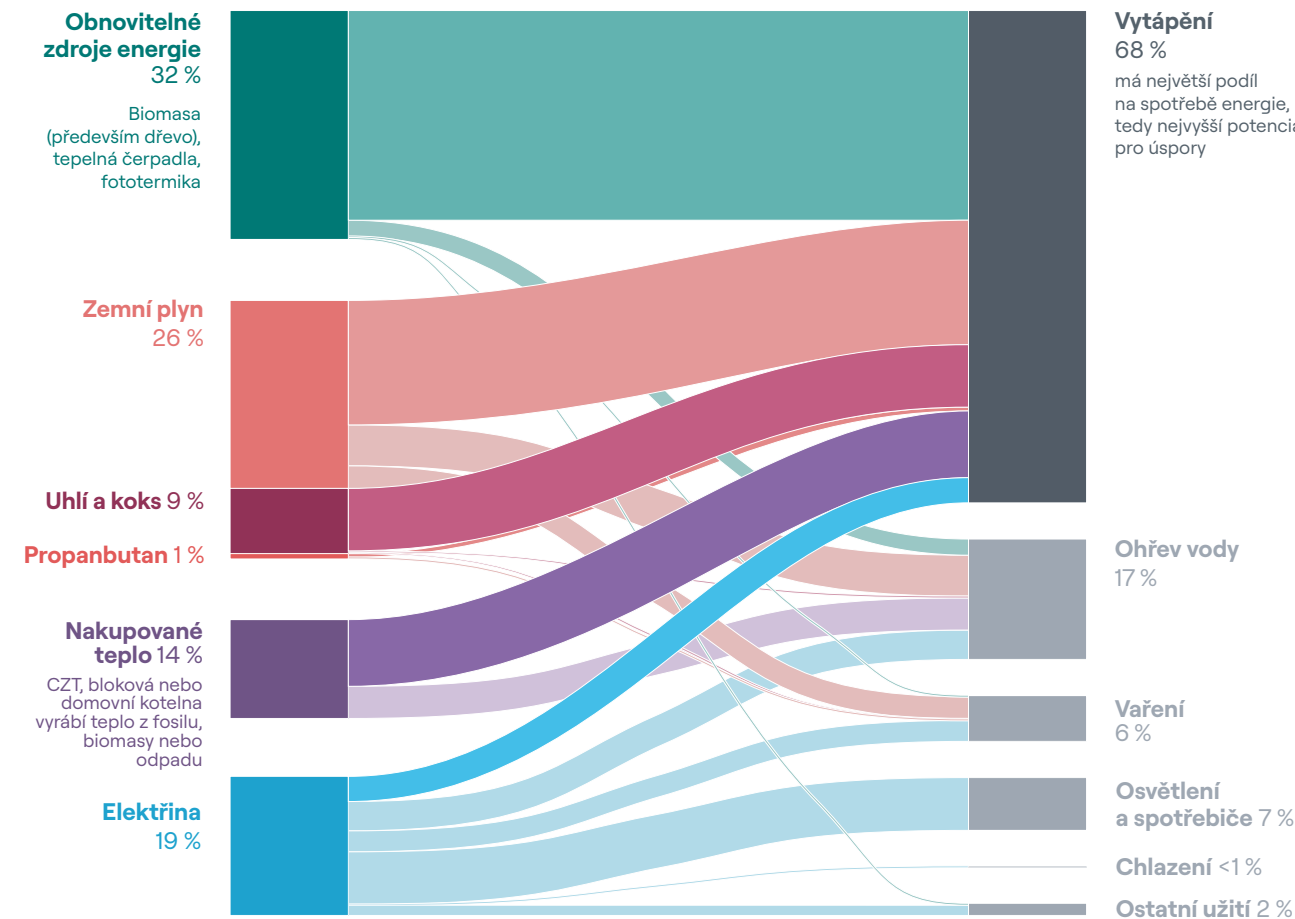
Dále sem patří divadla, galerie, školy, nemocnice a rekreační ubytování

Rozdílné využití energie v budovách: rodinné a bytové domy

Více než 80 % celkové spotřeby energie spojené s provozem domácností souvisí s vytápěním a ohřevem vody. Největší potenciál pro snížení provozních emisí budov tedy mají opatření umožňující snížit tuto spotřebu – zejména zateplování a výměna vysokoemisního zdroje energie za nízkoemisní.

Dvě třetiny spotřeby energie v domácnostech jdou na vytápění

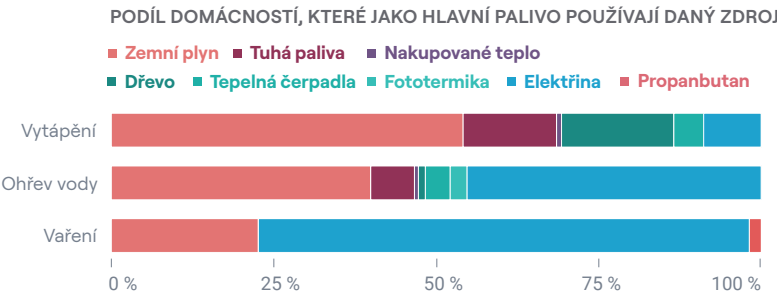
Dle konečné spotřeby energie (elektřiny a tepla), ta byla v roce 2021 v domácnostech **83 TWh**.⁶



Zdroj dat: ČSÚ, Spotřeba paliv a energií v domácnostech Energo – 2021

Rodinné domy mají převážně vlastní vytápění (plyn a tuhá paliva)

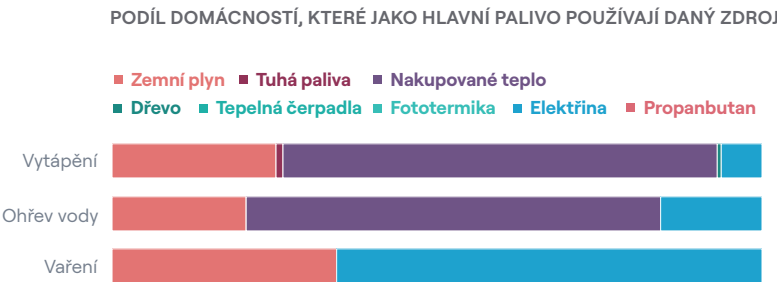
V rodinných domech v Česku je převládajícím zdrojem energie pro vytápění **zemní plyn**. Téměř čtvrtina domácností s tímto typem bydlení využívá také obnovitelné zdroje – dřevo nebo tepelná čerpadla.⁷



Zdroj dat: ČSÚ, Spotřeba paliv a energií v domácnostech Energo – 2021

V bytových domech se využívá hlavně nakupované teplo

Domácnosti v bytových domech v Česku většinou nakupují **teplo z tepláren** nebo blokových či domovních kotelen.⁹



Zdroj dat: ČSÚ, Spotřeba paliv a energií v domácnostech Energo – 2021

Jaká je role elektřiny?

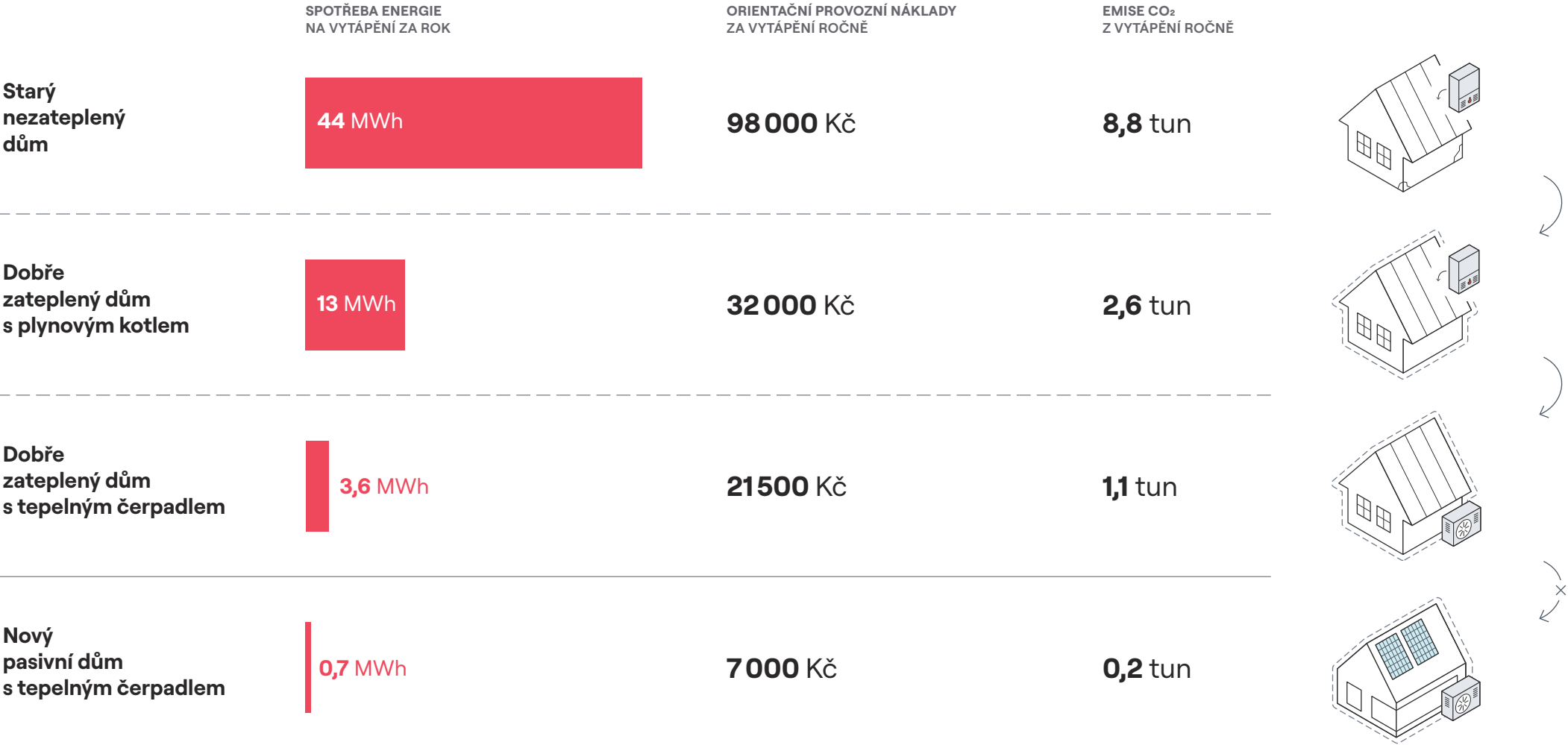
Elektřina ve formě elektrokotlů nebo přímotopů dnes v Česku **hraje ve vytápění jako hlavní zdroj minimální roli**. Avšak téměř 200 tisíc domácností používá elektřinu jako vedlejší zdroj k hlavnímu palivu.⁸

Nejvíce se elektřina využívá na vaření (80 % domácností v rodinných domech a 70 % v bytových), v rodinných domech také na ohřev vody (téměř 50 % domácností).

Nároky na vytápění u různých typů rodinného domu

Zhruba tři čtvrtiny energie využívané na vytápění budov v Česku se vyplývají tím, že teplo uniká skrze obálku domů do okolí. Tuto vysokou energetickou (a emisní) náročnost budov zásadním způsobem snižuje jejich zateplení a také používání tepelných čerpadel. Obojí se vyplatí i finančně.

Nároky na vytápění různých typů rodinného domu o velikosti 150 m²



Podobné rozdíly v nárocích na vytápění jsou i u různých typů bytových domů a nerezidenčních budov. Stejná logika se uplatňuje i pro bytové domy, případně nebytové prostory. Chybějící nebo nedostatečné zateplení vede k plýtvání energií potřebnou na vytápění, vysokým nákladům a emisím CO₂.

Nároky na vytápění ovlivňuje i teplota, na kterou se vytápí. S každým 1 °C navíc roste spotřeba energie v průměru o 7 %.

Kvalitní zateplení domu sníží spotřebu energie, emise CO₂ a roční náklady na provoz více než 3×.

Nahrazení plynového kotle tepelným čerpadlem dále sníží spotřebu energie a emise CO₂ cca 3×. I roční provozní náklady dále klesnou – asi o třetinu. Celková návratnost investice pak závisí na velikosti potřebných úprav a dlouhodobých cenách plynu a elektřiny.

Ze starého domu sice už renovací pasivní dům většinou nelze vytvořit, náklady tohoto typu domu jsou zde ale uvedeny alespoň pro srovnání. K vytápění je potřeba asi ještě 5× méně tepla než u dobře zatepleného domu s tepelným čerpadlem. Spotřeba energie, emise CO₂ i provozní náklady na vytápění se v podstatě blíží nule.

Jak snížit emise a spotřebu energie v budovách

Nejdůležitější je celková, dobře promyšlená renovace budovy. Jejím základem je snížení množství energie potřebné k vytápění pomocí zateplení, poté pokračuje zajištění nízkoemisního zdroje tepla, např. výměnou kotle na zemní plyn za elektrický nebo tepelné čerpadlo. Ve třetím kroku pak přichází na řadu fotovoltaika nebo ukládání energie. Tato posloupnost představuje ideální případ, ne vždy je ji možné z různých důvodů následovat.

PRVNÍ KROK

Kvalitně zateplit

A Energetické úspory

Největší úspora může být ve vytápění – to má v nezateplených domech na využívané energii největší podíl. **Čím méně energie bude domácnost potřebovat** na vytápění v zimě nebo chlazení v létě, **tím více uspoří** – jak financí, tak emisí.

Kvalitně provedené zateplení spolu s dalšími opatřeními přinese i **zdravější a komfortnější bydlení**. Znamená to vyšší tepelný komfort (v zimě bude dům lépe zadržovat teplo, v horkých letních dnech v něm naopak bude příjemněji). Navíc pokud je zapojeno řízené větrání s rekuperací tepla v domě, znamená to stálý přívod čerstvého vzduchu a méně se zde tvoří plísně.

Zateplit dům znamená především:

- Vyměnit okna a dveře – těsnější okna, trojskla
- Zateplit vnější stěny
- Zateplit strop suterénu
- Zateplit střechu nebo strop k půdě
- Kvalitně vyřešit větrání¹¹

Úspornější řešení může být o něco dražší (dvojskla × trojskla, tenčí × silnější izolace), nicméně rozdíl v ceně není velký – cena za práci je zpravidla stejná. Rozdíl v budoucí úspoře energie a nákladů ovšem může být značný.

Také platí, že zateplení obálky domu je nejvíce dlouhodobé řešení (s životností 40 a více let) ve srovnání s technologiemi jako tepelné čerpadlo nebo baterie k solárnímu panelu (s životností cca 15 let). I proto je efektivní směřovat investice nejprve do zateplení.

DRUHÝ KROK

Zajistit teplo z nízkoemisního zdroje

B Elektrifikace

Nížší spotřeba energie v zatepleném domě znamená, že na vytápění stačí zdroj s nižším výkonem, který může být nízkoemisní i levnější.

Jaké možnosti domácnosti mají?

- **Rodinné domy:** tepelné čerpadlo, elektrokotel, kotel na biomasu, krb s výměníkem na vodu
- **Bytové domy s lokálním plynovým kotlem:** elektrokoťel, tepelné čerpadlo, fototermika¹² s akumulací nádržemi
- **Bytové domy, které využívají centrální zásobování teplem:** zde záleží na transformaci teplárenství (viz *Výroba centrálního tepla s. 109–123*) – nahrazení fosilních zdrojů biomasou nebo biometanem, velkopacitními tepelnými čerpadly, využití odpadního tepla.

Velká část domácností v Česku teplo nakupuje nebo využívá elektřinu. Dekarbonizaci teplárenství a výroby elektřiny nemohou přímo ovlivnit. Je však důležité, aby probíhala souběžně s renovační vlnou – jinak zůstanou zateplené domy dál závislé na emisně náročných zdrojích.

TŘETÍ KROK

Vyrábět si vlastní elektřinu

C Výroba čisté elektřiny a tepla

Domácnosti si také mohou část elektřiny, kterou potřebují na vaření, svícení, ohřev vody, dobíjení elektromobilu a podobně, samy vyrábět z obnovitelných zdrojů – **pomocí solárních panelů na střeše**.

Energeticky úsporná opatření jdou dělat i bez celkové renovace

A Energetické úspory

Tam, kde celková renovace není možná – z finančních důvodů či kvůli specifčnosti budovy (např. špatně přístupná obálka domu či památková ochrana) – lze realizovat alespoň následující:

- Nastavit teplotní zónování – nastavit teplotu v závislosti na činnosti a času tráveném v místnosti
- Mít chytré ovládání topení
- Zateplit strop
- Utěsnit okna
- Zateplit potrubí rozvádějící teplo
- Pořídit si kotel na dřevo či krbová kamna

Co lze dělat navíc u nerezidenčních budov

Pro renovaci nemocnic, škol, úřadů nebo kanceláří platí obdobné postupy. Ve srovnání s rodinnými a malými bytovými domy zde může být vyšší potenciál pro solární panely na střeše nebo úspory z rozsahu, tedy snížení průměrných nákladů úprav díky tomu, že se úpravy dělají ve větším objemu najednou. Významnou roli u těchto budov hraje také energetický management – je možné efektivně řídit spotřebu energie, optimalizovat provoz budovy a snižovat náklady, aniž by to vedlo k omezení komfortu. Důležitá jsou i adaptační opatření proti přehřívání – například zelené střechy a fasády, vodní prvky nebo zeleň v okolí, které zároveň zlepšují kvalitu prostředí obecně.

Tepelné čerpadlo

Podobně jako v teplárenství, kde lze využít velká tepelná čerpadla (viz s. 116 v kapitole Výroba tepla), mohou i obytné budovy pomocí lokálního tepelného čerpadla významně snížit svou spotřebu energie, provozní náklady i emise CO₂.

Jak funguje?

Tato velmi efektivní technologie dokáže vyrobit **3–4× více energie, než kolik jí spotřebuje** (tedy využitím 1 MWh elektřiny lze získat 3 MWh tepla a více). Na rozdíl od běžného kotle, kde teplo vzniká spalováním plynu, dřeva apod., čerpadlo teplo nevytváří – pouze jej přesouvá z okolního prostředí

dovnitř do budovy. Je to podobný princip jako u ledničky, která také přesouvá teplo z chladnějšího prostředí uvnitř do teplejšího prostředí vně.

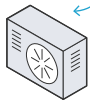
Venkovní výměník tepla (výparník)

Venkovní prostředí předává své teplo kolujícímu médium (chladicí kapalině) velmi nízké teploty – díky tomu lze odebrat teplo zvenku i uprostřed zimy. Médium se tímto teplem ohřívá.

Vstup: venkovní vzduch

Většina tepelných čerpadel v domech čerpá teplo z venkovního vzduchu, lze ale využít i teplo z podzemního vrtu.

1× spotřeba energie ve formě elektřiny



3–4× zisk energie ve formě tepla

Kompresor

Médium je následně stlačeno, čímž se jeho teplota dále výrazně zvýší.

Vnitřní výměník tepla (kondenzátor)

Teplé médium poté předává své teplo vodě, která se využívá na topení a na ohřev vody v bojleru. Tím médium chladne.

Rozvody teplé vody v domě

Na vytápění jde voda o teplotě 30–60 °C, zpět se vrací voda o 5–10 °C chladnější.

Uzavření cyklu

Médium o nízké teplotě a tlaku opět vstupuje do venkovního výměníku.

Expanzní ventil

Zde je médium rozpínáno tak, aby se dále výrazně ochladilo – na teplotu nižší, než je teplota venkovního prostředí.

Co je zásadní pro jeho účinnost?

Účinnost čerpadla je **tím vyšší, čím je menší rozdíl mezi vstupní teplotou venkovního vzduchu a výstupní teplotou ohříváné vody**. Tím méně práce totiž musí udělat kompresor pomocí elektřiny.

Stejně jako u velkých tepelných čerpadel na str. 116, i u malých čerpadel udává účinnost tzv. topný faktor. Například topný faktor 3 znamená, že čerpadlo dodá 3× více energie ve formě tepla, než kolik energie samo spotřebuje ve formě elektřiny. Vyšší faktor znamená vyšší účinnost.



Zajistit co nejvyšší vstupní teplotu

Jako vstupní zdroj tepla se u rodinných domů obvykle používá vzduch v okolí domu. Ten ale v zimě může být velmi chladný. Teplo lze odebrat také ze země, kde se i v největších mrazech drží teplota nad nulou. S tímto zdrojem je tak čerpadlo účinnější, ale je náročnější jej instalovat – musí se provést hluboké vrty, případně zakopat plošné kolektory.



Snížit teplotu vody potřebné k vytápění

Nejefektivnější je kombinovat čerpadlo s nízkoteplotním vytápěním. V dobře tepelně izolovaném domě s podlahovým topením může stačit voda o teplotě 35–45 °C, při využití větších radiátorů 40–55 °C. Naopak hůře zateplený dům s běžnými radiátory zpravidla potřebuje k vytápění vodu mnohem teplejší (70 °C a více), což účinnost využití tepelného čerpadla výrazně snižuje.¹⁵

K čemu může v domě sloužit?

Tepelné čerpadlo obvykle ohřívá vodu. Ta se v domě využívá dvěma způsoby: jednak cirkuluje v otopném systému (v podlahovém vytápění a/nebo v radiátorech) a jednak ohřívá vodu ke koupání a mytí (pomocí bojleru s tepelným výměníkem).

Tepelné čerpadlo může sloužit nejen k vytápění domu, ale i k jeho chlazení – z domu se pak odebrá teplo do venkovního prostředí.

POTENCIÁL V ČR

20–25 TWh/rok¹³

Tepelná čerpadla by tak v budoucnu mohla pokrýt téměř polovinu české spotřeby tepla v budovách. Záleží ovšem na míře renovací budov.

ŽIVOTNOST

15–20 let¹⁴

Životnost zkracuje především časté spínání kompresoru. Je proto důležité správně dimenzovat a provozovat systém vytápění.

ÚČINNOST

250–450 %

Pomocí 1 kWh elektřiny získá čerpadlo z okolního prostředí 2,5–4,5 kWh tepla (podle technologie a rozdílu teplot). Za poslední desetiletí vývoje se účinnost výrazně zvýšila. Naproti tomu plynové kotle a elektrokotle mají účinnost nanejvýš okolo 100 %.

CENA TEPLA Z ČERPADEL

závisí hlavně na ceně elektřiny

Ekonomické srovnání s plynovým kotlem nejvíce ovlivňuje podíl ceny elektřiny vůči ceně zemního plynu (a ceně emisních povolenek).

Energeticky chytrý dům

Má zateplenou obálku, šetrný zdroj vytápění i vlastní výrobu a akumulaci energie. Bydlení v takovém domě může být komfortnější, levnější a dávat lidem i něco navíc – vlastní energii, kterou potřebují k bydlení a provozu auta.

Využívá energeticky efektivní technologie

Zateplení

Snižuje potřebu energie v domě na minimum – to je pro vyšší energetickou efektivitu bydlení nejdůležitější.

Tepelné čerpadlo

V zimě dodává teplo, v létě chlad a zároveň zajišťuje teplou vodu. To vše s vysokou efektivitou a nízkými provozními náklady.

Vnější rolety

Prosklené plochy na jih ohřívají vzduch a snižují potřebu vytápění po větší část roku. V létě je ale potřeba tyto plochy zastínit, aby se interiér domu nepřehříval.

Solární panely

Vyrábějí elektřinu – pro okamžitou spotřebu, dobíjení elektroauta, ale také skladování nebo prodej do veřejné sítě.

Baterie

Skladují elektřinu z doby, kdy jsou jí přebytky (například ve slunné poledne), na chvíli, kdy je jí nedostatek (například večer po západu slunce).

Kromě instalace různých „vychytávek“ pro větší bezpečí a komfort bydlení mohou být domy chytré (smart) i v tom, jak zacházejí s energií.

Rekuperace

Systém řízeného větrání s rekupercí tepla dále snižuje tepelné ztráty při výměně vzduchu v místnostech a přináší do domu stále čerstvý vzduch, takže se tu lépe dýchá.

Zásobník teplé vody

Velké množství vody se ohřeje na vysokou teplotu v době dostatku energie (svítí slunce) a je pak k dispozici na mytí i několik dní, a to i když je energie nedostatek (nesvítí slunce).

Elektroauto

Na dobíjení využívá elektřinu ze solárních panelů, a výrazně tak zlevňuje svůj provoz. Baterii auta navíc bude možné využívat i pročasné zásobování domu elektřinou.

Chytré řídí spotřebu energie

Používá efektivní technologie a zároveň má chytrý systém, kterým tyto technologie řídí.

Základem je **řízení spotřeby tepla**. Vyladění otopné soustavy a chytré termostaty mohou zajistit, že se v každé místnosti topí jen tolik, kolik je opravdu potřeba, a v době, kdy je to potřeba. Tomu lze přizpůsobit také výrobu tepla – chytrým řízením tepelného čerpadla.

S chytrým řízením čerpadla souvisí **řízení spotřeby elektřiny**. Ohřev vody a chod tepelného čerpadla, nabíjení baterií a elektroauta, případně i využívání dalších spotřebičů, jako pračky a sušičky – to vše může probíhat zejména v době, kdy má dům dostatek levné elektřiny z vlastních solárních panelů nebo z veřejné sítě.

Tuto energii umí dům i **uložit „do zásoby“**, tedy ji využít k dobití baterií, nahřátí zásobníku teplé vody, vytopení domu o stupeň či dva navíc a podobně. Dům má pak nižší spotřebu v době, kdy obnovitelné zdroje vyrábějí jen málo elektřiny, a ta je drahá.

A i když dům vlastní solární panely ani baterie nemá, stále může umět využívat elektřinu více v době, kdy je jí dostatek a je levná, a naopak minimalizovat spotřebu v době, kdy tomu tak není.

Celý systém nemusí od uživatelů domu vyžadovat žádné složité plánování a rozhodování – **může být zcela automatizovaný**. Toto řízení spotřeby elektřiny bude zřejmě v budoucnu jako službu nabízet stále více dodavatelů elektřiny a dalších firem, je to totiž výhodné jak pro domácnosti, tak pro celou síť. Domácnostem to šetří peníze a v celé síti to pomáhá lépe přizpůsobovat spotřebu elektřiny výrobě z obnovitelných zdrojů.

A co bytové domy?

Řadu uvedených technologií a principů lze stejně dobře uplatnit i v bytových domech. A **přínos je ještě větší a obvykle je to i levnější**. Bytové domy ve tvaru kvádra je totiž snadné kvalitně zateplit a jsou energeticky úspornější v přepočtu na obyvatele. Nové technologie se také zavádějí rovnou pro větší počet uživatelů – není třeba instalovat vše pro každou bytovou jednotku zvlášť.

Poznámky ke kapitole

- 1

Zatímco přímé provozní emise ze spalování paliv v rezidenčních i nerezidenčních budovách jsou uvedeny v každoroční inventarizaci emisí skleníkových plynů, nepřímé provozní emise dopočítává EEA jako odpovídající podíl emisí z výroby elektřiny a tepla podle konečné spotřeby energie dle energetických statistik.

→ Český hydrometeorologický ústav. (2024). *Národní inventarizační dokument České republiky 2024*. [Dostupné online]

→ European Environment Agency. (2012). *End-user GHG emissions from energy*. [Dostupné online]

→ European Environment Agency. *Greenhouse gas emissions inventory: Energy-related end-user emissions*. [Dostupné online]
- 2

Jako nepřímé jsou zde zobrazeny emise, které významně souvisí s výrobou stavebních materiálů a výstavbou. Jejich podíl připadající budovám byl odhadnut na základě dat konečné spotřeby energie. Konkrétně 3 Mt CO₂eq z výroby železa a oceli, 2 Mt z nekovových minerálů, 1 Mt ze zpracovatelského průmyslu a konstrukce, 2 Mt z F-plynů. Dohromady jde o 8 Mt, což představuje 7 % emisí Česka.

→ Český hydrometeorologický ústav. (2024). *Národní inventarizační dokument České republiky 2024*. [Dostupné online]

→ Eurostat. Complete energy balances (nrg_bal_c). European Commission. [Dostupné online]
- 3

Část budov je navíc kulturními památkami nebo se nacházejí v památkově chráněném území. Jejich renovace tak může být složitější (v závislosti na stupni ochrany) než u jiných typů budov.
- 4

Rekonstrukcí se rozumí případy, kdy proběhly větší úpravy domu (přestavba, přístavba apod.), které podléhaly kolaudačnímu rozhodnutí.
- 5

Ministerstvo průmyslu a obchodu. (2020). *Dlouhodobá strategie renovací na podporu renovace vnitrostátního fondu obytných a jiných než obytných budov, veřejných i soukromých*. [Dostupné online]
- 6

Český statistický úřad. (2022). *Spotřeba paliv a energií v domácnostech Energo – 2021*. [Dostupné online]
- 7

Přibližně 500 tisíc domácností v rodinných i bytových domech zároveň využívá jako vedlejší palivo pro vytápění biomasu. V praxi to vypadá třeba tak, že domácnost vytápí částečně zemním plynem a částečně dřevem v krbových kamnech.
- 8

S ohledem na měnící se klima bude do budoucna klesat potřeba energie na vytápění a zvyšovat se potřeba energie na chlazení, což také povede k většímu využívání elektřiny.
- 9

Ačkoliv co do objemu pochází největší množství energie z biomasy a zemního plynu, co do počtu jednotlivých domácností je nejčastěji využívaným zdrojem nakupované teplo (které se podílí pouze na 14 % celkového množství energie). Je to proto, že bytové domy mají zpravidla nižší energetickou náročnost než ty rodinné, a proto spotřebují energie méně.
- 10

Provozní náklady za vytápění jsou kalkulovány pomocí výpočtových tabulek na webu TZB-info. (2025). *Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii*. [Dostupné online]. Výpočet se opírá o průměrné ceny elektřiny a plynu s DPH včetně fixních poplatků z ledna 2025. Emise jsou dopočítány podle emisní intenzity jednotlivých zdrojů vytápění.
- 11

Více informací k jednotlivým krokům celkové renovace nabízí např. manuály k programu Nová zelená úsporám.

→ Státní fond životního prostředí ČR. *Nová zelená úsporám: Rady a tipy*. [Dostupné online]
- 12

Fototermika je technologie, která pomocí solárních kolektorů ohřívá vodu nebo vzduch.

13

Výrobu tepla tepelnými čerpadly v budovách v rozsahu 20–25 TWh/rok udává např. pro rok 2050 dekarbonizační scénář ze strategického dokumentu Ministerstvo průmyslu a obchodu. (2024). *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*. [Dostupné online]. Některé jiné scénáře dokonce udávají ještě mnohem vyšší výrobu, např. okolo 35 TWh/rok v pokročilém scénáři studie Greenpeace Česká republika a Hnutí DUHA. (2021). *Energetická revoluce: Jak zajistit elektřinu, teplo a dopravu bez fosilních paliv*. [Dostupné online].

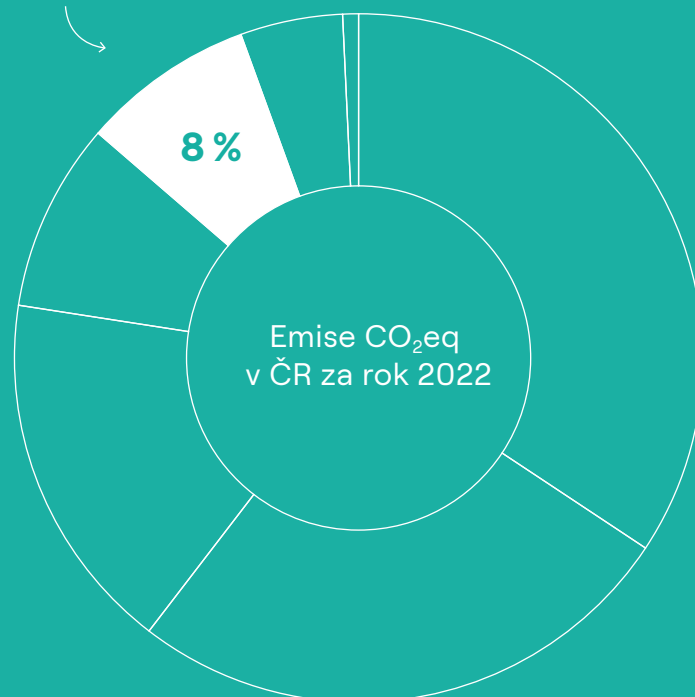
14

Např. International Energy Agency. (2022). *The Future of Heat Pumps*. [Dostupné online] v obrázku 3.1 udává průměrnou životnost 18 let pro tepelná čerpadla vzduch–voda.

15

Obdobná teplotní rozmezí udávají různí výrobci tepelných čerpadel nebo poskytovatelé podlahových topení, viz např. Viessmann. (2025). *Hlavní znaky podlahového vytápění*. [Dostupné online]
- 182
- 183

Zemědělství
10 Mt CO₂eq



Lesnictví a využití půdy
emituje dalších 3 Mt CO₂eq

Hospodaření v krajině

Krajina v Česku: pole, louky a lesy

Více než polovina území v Česku se využívá k zemědělské produkci, na třetině území se nacházejí lesy, z nichž většina slouží k produkci dřeva. Pro krajinu v Česku je tedy typické, že ji do velké míry ovlivňuje a spoluutváří člověk tím, jak a k čemu ji využívá.¹

Pole a trvalé kultury 40 %

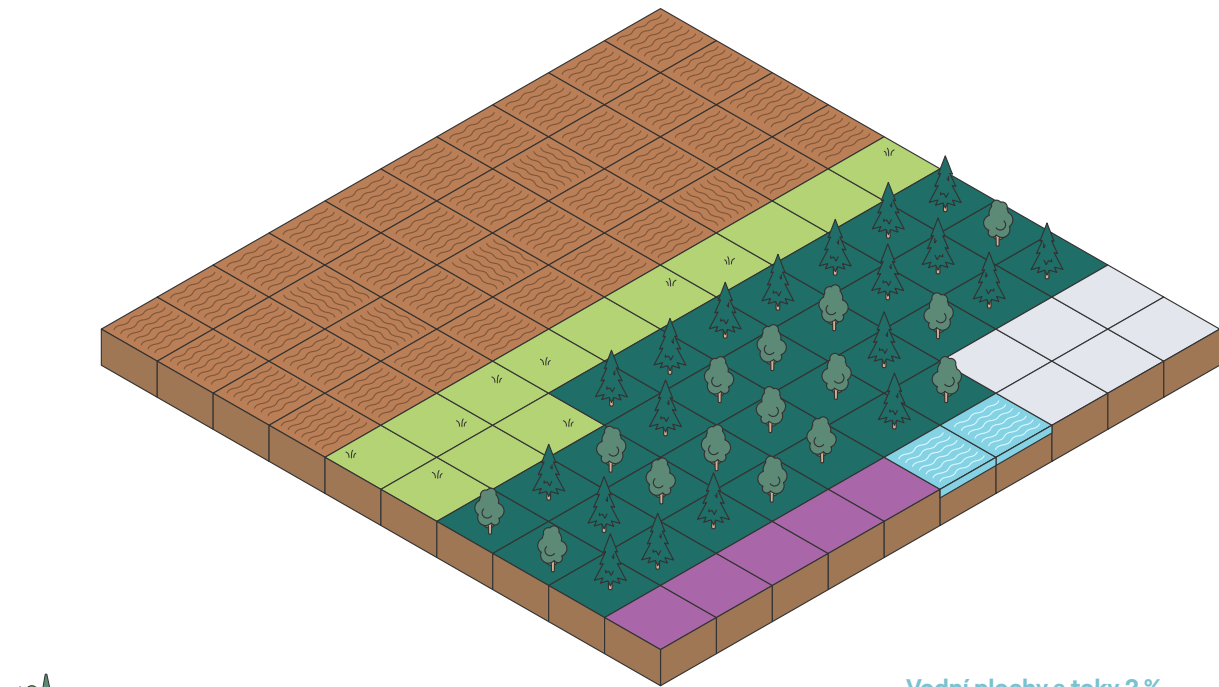
Naprostá většina z toho je orná půda (92 %), využívaná k pěstování obilí, krmiv, cukrové řepy a dalších plodin. Celková roční produkce plodin je cca 20 mil. tun. Zbývajících 8 % půdy tvoří trvalé kultury, tedy sady, vinice, chmelnice a zahrady.

Lesy 34 %

Přibližně 75 % z toho jsou hospodářské lesy, využívané zejména k produkci dřeva – to slouží na stavbu domů, výrobu nábytku, papíru, ale i na energetické využití (topení). Množství vytěženého dřeva se obvykle pohybuje okolo 15 mil. tun ročně.

Louky a pastviny 13 %

Tráva z luk se využívá jako krmivo pro dobytek chovaný na maso a mléko (1,4 miliónů kusů dobytka). Spásané louky mohou být cenné pro svou biodiverzitu – žije tu např. řada druhů motýlů a dalšího hmyzu a roste mnoho druhů bylin a jiných rostlin.



Krajinotvorné prvky

Jde například o meze, aleje i samostatně stojící stromy, remízky, mokřady či tůně. Z hlediska rozlohy nejsou podstatné, jsou však zásadní pro rozmanitost krajiny, biodiverzitu, ale i pro adaptaci živého světa na různé změny, včetně dopadů změny klimatu.

Zastavěná plocha a cesty 5 %

Měst, vesnic, cest a jiné zastavěné plochy je v Česku sice málo, ale jsou roztroušeny po celém území. Dálnice a jiné stavby vedou k nepřírozané fragmentaci krajiny a pro mnohé živočichy mohou představovat nepřekonatelné překážky. Mezi další dopady sídel na krajinu patří například odpady, hluk či světelné znečištění.

Vodní plochy a toky 2 %

Nádrže, jezera, potoky, řeky i rybníky, často využívané k chovu ryb, zejména kaprů. Roční produkce ryb je přibližně 24 tisíc tun.

Ostatní 6 %

Místa, která nespadají do jiných kategorií – např. povrchové doly, hřbitovy či místa, kde se nacházejí přírodní a kulturní památky.

Při hospodaření v krajině vznikají dva druhy emisí

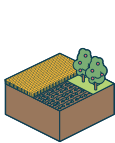
Emise ze zemědělství

Jde především o emise spojené s chovem hovězího dobytka, používáním hnojiv a rozkladnými procesy v půdě. Podrobně se jim věnují 187–s. 189.

Emise související se změnami zásob uhlíku

V krajině je uloženo velké množství uhlíku v kmenech stromů, tělech rostlin a v půdě. Vlivem hospodaření v krajině se tento uhlík může uvolňovat do atmosféry v podobě CO₂ nebo se jeho zásoby mohou dále zvyšovat. Tyto emise se běžně označují zkratkou LULUCF (*Land Use, Land-Use Change and Forestry*) a více se o nich píše na s. 190–191.

Hospodaření zásadně ovlivňuje zdraví krajiny i naši prosperitu



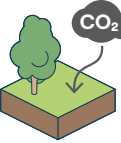
Zemědělská produkce

Úrodná půda, bohatá na živiny a schopná zadržovat vodu, je základem pro hojnou sklizeň. Pro Česko jsou však typické velké, scelené lány, kterým chybí remízky a meze, což zvyšuje náchylnost půdy k erozi. K půdní degradaci přispívá také úbytek organické hmoty v půdě v důsledku intenzivní aplikace pesticidů a syntetických hnojiv.



Produkce dřeva

Smrkové monokultury, které jsou dosud v Česku velmi běžné, se v nedávné kůrovcové kalamitě ukázaly jako vysoce zranitelné. Bylo nutné urychleně vytěžit a zpracovat obrovské množství dřeva a na mnoha místech zůstaly rozsáhlé holiny – např. na Vysočině zmizelo 20 % lesů.² To významně změnilo ráz krajiny a zasáhlo též dřevozpracující průmysl a stabilitu produkce dřeva.



Ukládání (sekvestrace) uhlíku

Les s pestrrou druhovou skladbou a stromy různého stáří, kde se hospodářství tzv. výběrným způsobem, je schopen efektivně a dlouhodobě ukládat uhlík v biomase i půdě. Nedávná kůrovcová kalamita ve stejnověkových smrkových monokulturách naopak způsobila, že české lesy uvolnily do atmosféry přibližně 25 milionů tun CO₂ (více na další straně).³



Biodiverzita

V krajině, kde se menší pole střídají s remízky a loukami, nachází domov i potravu nespočet druhů hmyzu, včetně čmeláků a jiných opylovačů, bez nichž se úroda na polích neobejde. Také staré stromy, mokřady a tůně nabízejí útočiště dalším stovkám živočichů a rostlin. Naopak intenzivní zemědělství s nepřerušnými lány, na nichž se pěstuje pouze jediná plodina a které se po sklizni často nechávají holé, nedává biodiverzitě prostor a oslabuje odolnost krajiny jako celku.



Zvládání extrémů počasí

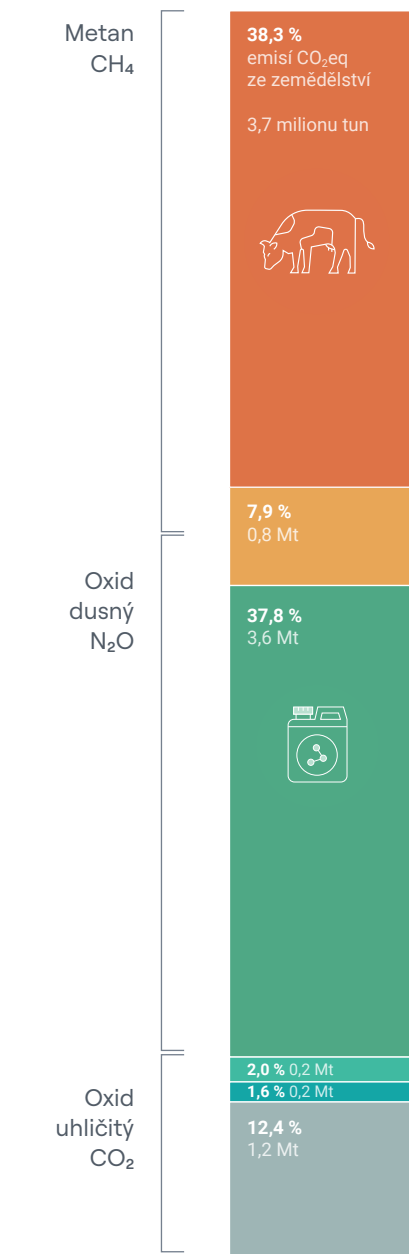
Pestrá krajina, ve které jsou půda i lesy v dobré kondici, dokáže efektivně zadržovat vodu z dlouhých dešťů i přívalem srážek. Voda rychle neodtéká pryč, ale vsakuje se do půdy, což snižuje riziko ničivých povodní a zároveň vytváří zásoby vody pro období s nedostatkem srážek. Kde lesy chřadnou a půda je degradována, voda naopak rychle odtéká a riziko povodní i dopadů sucha se zvyšuje.

Už z uvedených příkladů je zřejmé, že při hospodaření v krajině je třeba řešit mnohem více než jen emise skleníkových plynů. Opatření, která se těchto dalších aspektů týkají, jsou často stejná či podobná jako opatření snižující emise, komplexnost celé problematiky však přesahuje rámec této publikace.

Emise skleníkových plynů ze zemědělství

Na rozdíl od jiných odvětví, kde hlavní roli hrají zejména emise CO₂, v zemědělství vznikají především jiné skleníkové plyny: metan a oxid dusný.⁴ Souvisí to zejména s chovem dobytka a s používáním hnojiv.

Jde hlavně o metan a oxid dusný



Emise související s chovem dobytka

Trávení potravy u hovězího dobytka

V žaludcích dobytka žijí bakterie, jež rozkládají potravu a dochází ke kvašení (tzv. enterické fermentaci). Přitom se uvolňuje metan, který pak zvířata řhají a vydechují. Takto vznikají téměř dvě pětiny emisí skleníkových plynů ze zemědělství. Naprostá většina těchto emisí je spojena právě s chovem krav – trávení ostatních zvířat (ovce, kozy, prasata) významné emise metanu nevytváří.

Nakládání s hnojem

Z chlévského hnoje, který je bohatý na organickou hmotu (sláma, výkaly zvířat), se při rozkladu uvolňuje metan a malé množství oxidu dusného. Současně je ale hnůj také důležitým přírodním hnojivem, které dodává do půdy organickou hmotu a zvyšuje její úrodnost.

Emise související s půdou

Používání hnojiv

Významnou část dusíkatých hnojiv aplikovaných na polích rostliny nespotřebují. Toto nevyužití hnojivo pak rozkládají půdní mikroorganismy, čímž se do atmosféry uvolňuje oxid dusný. Množství emisí tohoto plynu však závisí nejen na množství nespotřebovaného hnojiva, ale i na půdní vlhkosti a provzdušnění. Část hnojiv, jež rostliny nevyužijí, je navíc splachována do řek a rybníků, kde způsobuje nežádoucí eutrofizaci vod.⁵

Vápnění

Zmírňuje kyselost zemědělských půd. Vápenec se v půdě postupně rozkládá na vodu a CO₂.

Aplikace močoviny

Močovina se využívá jako hnojivo a v půdě se rozkládá na amoniak a oxid dusný.

Emise ze spalování benzínu a nafty

Emise CO₂ produkované traktory, kombajny a další zemědělskou technikou.

Zdroj dat: ČHMÚ, Národní inventarizační dokument 2024

Jak tyto emise snížit?

Snižování emisí skleníkových plynů v zemědělství má své limity a dostat se na nulové emise prakticky nelze. Přesto významné snížení možné je.



Šlechtit dobytek a obohacovat krmiva

Přidávání speciálních mořských řas, taninů nebo biouhlí do krmiv dokáže snížit množství metanu vznikajícího v žaludcích dobytka o 10–50 %, aniž by to negativně ovlivňovalo zdraví či produktivitu zvířat.⁶ Vyžaduje to však průběžné náklady spojené s nákupem a přidáváním těchto látek, protože jejich efekt je jen dočasný. Další možností se zdá být genetické šlechtění, neboť množství metanu, který se v žaludku krávy tvoří, je částečně dědičný znak.⁷ To je sice mnohem pomalejší proces, umožňující snižovat emise jen v řádu jednotek procent za dekádu, přinesl by však trvalé snížení emisí u nových generací dobytka a po počáteční investici by už nevyžadoval další náklady.



Dávkovat hnojiva

Hlavním principem snižování emisí N₂O je dávkovat hnojiva tak, aby je rostliny dokázaly co nejvíce spotřebovat. K tomu slouží metody precizního zemědělství, jež umožňují sledovat růst rostlin na jednotlivých částech pole a hnojiva dávkovat přesněji podle potřeb rostlin. Tyto metody přinášejí stejné výnosy s výraznými úsporami hnojiva a nižšími emisemi N₂O. Experimentuje se také s novým složením hnojiv, které by mělo zpomalovat mikrobiální rozklad (tzv. inhibitory nitrifikace). Studie odhadují, že precizním zemědělstvím a dalšími technologickými postupy by mohlo být možné snížit emise z používání hnojiv až o 70 %.⁸



Snižovat spotřebu mléka a hovězího masa

Přímou cestou ke snížení emisí metanu z chovu dobytka je redukce celkového počtu chovaných zvířat, tedy snížení spotřeby hovězího masa a mléka. Aktuálně se v Česku tato spotřeba pohybuje okolo 9,5 kg hovězího masa a 250 litrů kravského mléka a mléčných výrobků na osobu ročně.⁹ Jako alternativu je možné ve větší míře konzumovat rostlinné potraviny bohaté na proteiny a další živiny (např. luštěniny a ořechy). Snížení počtu kusů dobytka by také uvolnilo část zemědělské půdy využívané pro pěstování krmiv, zároveň by to ovšem znamenalo i méně chlévského hnoje, který je cenným organickým hnojivem.



Podpořit zdraví půdy vhodnějším hospodařením

Emise N₂O je možné snižovat též jinými způsoby hospodaření, jako je např. regenerativní zemědělství. Důležité je zejména úsilí o zvyšování množství organické hmoty v půdě a zlepšování celkového zdraví půdy – to kromě jiného snižuje i potřebu používat syntetická hnojiva. Také je vhodné dbát na udržování stálého pokryvu půdy (pomocí meziplodin) a co nejvíce omezovat orbu. Kromě snížení emisí to zlepší i schopnost půdy zadržovat vodu a živiny.

Zásoba uhlíku v krajině a uhlíkový cyklus

V lesích, na polích i loukách je uloženo velké množství uhlíku. Z hlediska klimatické změny je zásadní zabránit nadměrnému uvolňování uhlíku, který je v krajině uložen, a zároveň podpořit jeho další ukládání (tzv. sekvestraci).

Ukládání a uvolňování uhlíku v krajině je přirozený proces

Uhlíkový cyklus je přirozený proces probíhající na planetě stovky milionů let. Během něj se uhlík v krajině ukládá do těl rostlin a později pak znovu uvolňuje do atmosféry. Zásoby uhlíku, které jsou vázány v kmenech stromů, rostlinách a půdě, se však mohou měnit vlivem lidského hospodaření a toto uvolňování uhlíku do atmosféry (například při obdělávání polí či těžbě lesů) a jeho pohlcování, je označováno jako LULUCF (*Land Use, Land-Use Change and Forestry*). V České republice mají na tuto bilanci největší vliv právě lesy, jež představují významné úložiště uhlíku.

Život

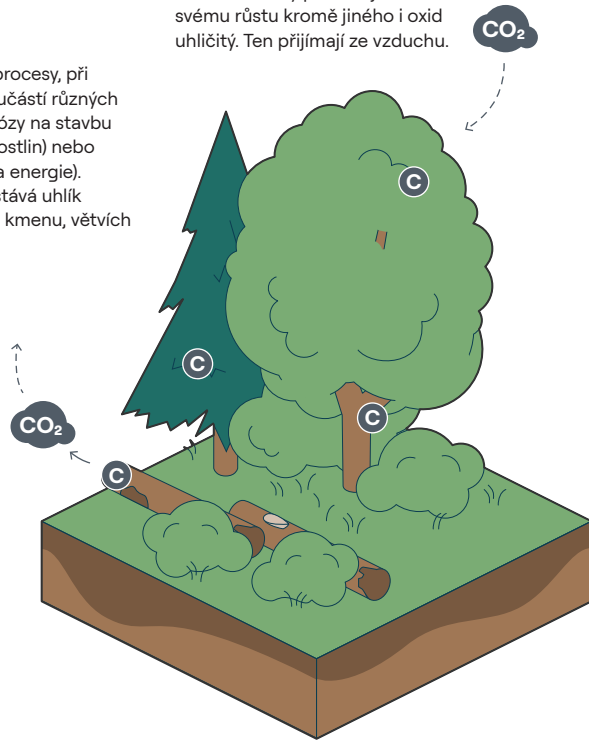
V rostlinách probíhají procesy, při nichž se uhlík stává součástí různých sloučenin – například celulózy na stavbu buněčných stěn (těla rostlin) nebo cukrů a škrobů (zásoba energie). Dokud rostlina žije, zůstává uhlík uložený v jejích listech, kmenu, větvích a kořenech.

Růst

Zelené rostliny potřebují ke svému růstu kromě jiného i oxid uhličitý. Ten přijímají ze vzduchu.

Odumření a rozklad

Když rostlina nebo její část odumře a spadne na zem, začnou ji rozkládat půdní organismy a uhlík se během tohoto rozkladu postupně uvolňuje zpět do vzduchu, opět v podobě CO₂.

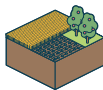


Obsah uhlíku uloženého v krajině¹⁰



Lesy a lesní půda

Obsah uhlíku závisí na stáří lesa a množství biomasy. Hektar starého přirozeného lesa může obsahovat až 300–400 tun uhlíku v biomase a 50–100 tun v půdě.



Orná půda

V Evropě obsahuje hektar zemědělské půdy průměrně 110 tun uhlíku.



Mokřady

Mokřady a rašeliniště mohou obsahovat až 800 tun uhlíku na hektar.

Příklad narušení uhlíkového cyklu: kůrovcová kalamita

V Česku probíhala v letech 2016 až 2022. Různých krajů se dotkla různě, největší dopad měla na dospělé smrkové monokultury v nižších a středních polohách. Kdyby se všechny tyto lesy spojily do jedné souvislé plochy, pokryly by území o rozloze přes 2 000 km² (obdélník 50 × 40 km).¹¹ **Celkově**

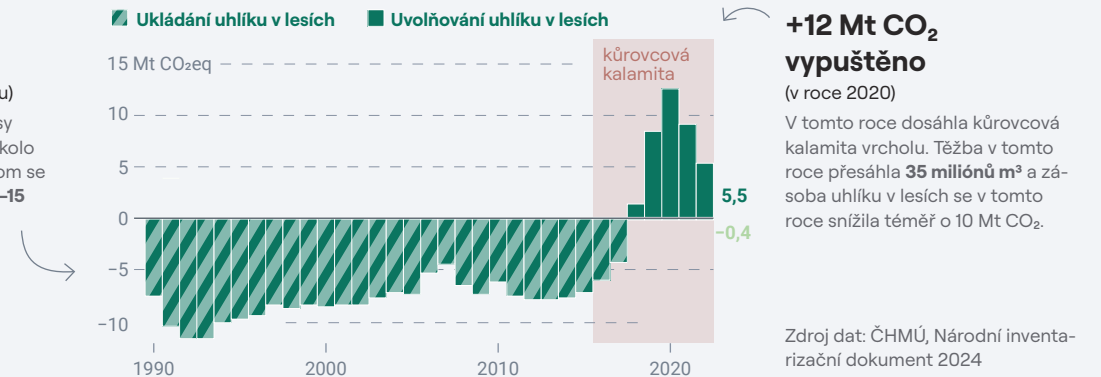
česká krajina v důsledku této kalamity ztratila uhlík odpovídající emisím **25 milionů tun CO₂** (pro srovnání: jde o více než roční emise veškeré dopravy v Česku a zhruba pětinu celkových ročních emisí ČR).¹²

ZMĚNY ZÁSoby UHLÍKU V ČESKÝCH LESÍCH

5–10 Mt CO₂ ročně pohlceno

(před kůrovcovou kalamitou)

V letech 1990–2015 byly lesy v Česku schopny ukládat okolo 7 megatun CO₂ ročně. Přitom se každý rok vytěžilo okolo **10–15 milionů m³ dřeva**.



Jak k tomu přispělo hospodaření v lesích?

Smrkové lesy v Česku tvoří zhruba polovinu lesní plochy. Často jde o **stejnověké monokultury**, které jsou pro škůdce ideálním prostorem k rychlému šíření. Navíc stromy jsou v monokulturách z ekonomických důvodů většinou **pěstovány „nahusto“**, což neumožňuje dostatečný rozvoj kořenového systému a korun a na stejné množství vody a živin je jich více. Jsou pak oslabené a náchylnější k napadení.

Jaký vliv měla klimatická změna?

Kalamita se rozvinula v **období extrémního sucha**, jež zasáhlo střední Evropu v letech 2016–2020 a podle výzkumů patřilo k nejintenzivnějším za poslední dvě tisíciletí.¹³ Kromě toho mělo významný vliv i **dlouhodobé oteplování** – za posledních 60 let, během nichž lesy zasažené kalamitou vyrostly, se Česko oteplilo o 2 °C. To posunulo oblasti vhodné pro pěstování smrků do výrazně vyšších nadmořských výšek. Navíc **vyšší teploty zrychlily vývoj larev kůrovce** – v nižších polohách se během kalamity vylíhly 3–4 generace, zatímco před 60 lety to běžně byly jen 1–2 generace.

Jak podpořit přirozený uhlíkový cyklus a odolnost lesů?

Příklad s kůrovcovou kalamitou naznačuje, že pro budoucí stabilitu a odolnost českých lesů je klíčové postupně přejít od pěstování zranitelných smrkových monokultur **k lesům, které jsou věkově, druhově i prostorově různorodé** a jejich druhová skladba odpovídá stanovišti i predikcím dalšího vývoje (oteplování). Takové lesy budou odolnější jak vůči škůdcům, tak vůči klimatické změně. **Výběrné hospodaření**

namísto plošného kácení by navíc pomáhalo udržet lesní půdu stále zakrytou, čímž by se snížily úniky uhlíku do atmosféry. **Ponechávání mrtvého dřeva v lesích** by kromě vázání uhlíku podpořilo také lesní biodiverzitu.

Otázky spojené s klimatickou změnou a krajinou

Proč je důležité, aby krajina byla odolná?

Odolností (resiliencí) krajiny je myšlena její **schopnost vyrovnávat se s různými změnami**. Čím rychleji změna probíhá, tím odolnější musí krajina být, aby ji zvládla a dokázala se na ni adaptovat. Jestliže se například Česko za posledních 60 let oteplilo o více než dva stupně (viz kapitolu *Klimatická změna s. 225–236*), je to pro zdejší smrkové monokultury příliš rychlá změna a stávají se pak velmi zranitelné. Když se přidá kůrovec a další faktory, má to na krajinu tak velké dopady, že jsou vidět na první pohled.

Zvyšování odolnosti krajiny si lze představit na příkladu otužování – díky němu je naše tělo odolnější a lépe se vyrovnává se změnami teplot. Nejsme pak tolik náchylní k nachlazení, a pokud přece jen onemocníme, mívá nemoc rychlejší a méně vážný průběh. Zároveň se otužilými nestaneme jen tak a během pár dní – vyžaduje to dlouhodobější cíl a kontinuální úsilí. S odolností krajiny je to velmi podobné.

Jaké škody v krajině způsobují extrémní události?

S extrémními projevy počasí jako **povodně, sucha, vlny veder, požáry** a podobně se krajina musela vyrovnávat vždy. V posledních desetiletích jsou však v důsledku klimatické změny tyto události stále častější a intenzivnější, což jednak znamená větší rozsah škod a jednak kratší čas, který má krajina na to, aby se z dané události „vzpamatovala“. Typickým příkladem jsou lesní požáry postihující stále častěji rozsáhlé oblasti Severní Ameriky, Asie i Evropy.

V Česku představují velký problém zejména **prudké přívalové deště** a s nimi spojené povodně a také četné erozní události, kdy je úrodná půda odplavena pryč nebo skončí jako nános bahna v blízké vesnici. Zemědělci v Česku se rovněž stále častěji potýkají s dopady **sucha** kvůli měnícímu se rozložení srážek během roku a menší sněhové pokrývce v zimních měsících. Období sucha ovšem představuje stres i pro ekosystémy – velmi citlivé jsou na něj například smrkové lesy. Velké škody mohou v Česku způsobit také **ničivé větry** (orkány), nejen v lesích, ale i na lidských obydlích a infrastruktuře.

Jak dlouho trvá, než se projeví změny hospodaření?

Na rozdíl od jiných sektorů hospodářství, kde mohou být potřebné změny relativně přímočaré (a někdy i rychlé), v případě krajiny je to složitější, protože **se vše děje mnohem pomaleji**. I když se rozhodneme hospodařit v lesích tak, aby byly odolnější, bude i za nejpříznivějších okolností trvat více než půl století, než na holině po kůrovcové kalamitě dorostou stromy do mýtního věku.¹⁴ I když se rozhodneme zlepšit stav zemědělské půdy, v níž chybí organická hmota, a zmírňovat její překyselení či náchylnost k erozi, žádná opatření nemohou situaci zlepšit ze dne na den. Tuto dlouhodobou perspektivu je klíčové brát při jakémkoli krajinném managementu v potaz.

Pomalé tempo změn má své důsledky jak pro krajinu samotnou (její odolnost a zdraví se zlepšují pomalu), tak pro ekonomiku – produkce potravin a dřeva může být dlouhodobě nižší a vlastníci polí a lesů tak mohou mít po mnoho let nižší, nebo dokonce žádný zisk.

Jaký význam mají krajinotvorné prvky?

Především **zvyšují krajinnou pestrost (mozaikovitost)**. Tím přibývá míst, která různým druhům živočichů poskytují životní prostor a zdroj potravy. Pro tyto druhy je pak také snazší se v krajině pohybovat a šířit – velké lány jim mohou značně komplikovat cestu za vodou a potravou, vytváření nových hnízdišť a podobně.

Květnaté pásy, louky či úhory jsou důležité například pro opylavače, na staré stromy jsou zase vázány různé druhy brouků, v remízcích mohou hnízdit polní ptáci nebo žít drobní savci. V mokřadech a tůních se daří například obojživelníkům, zároveň jsou to pro všechny druhy cenné drobné zdroje vody, mezi nimiž nejsou těžko překonatelné vzdálenosti. Krajinotvorné prvky tedy **pomáhají s adaptací na klimatickou změnu** (např. na stále častější a delší období sucha) **a jsou klíčové i pro biodiverzitu** (druhovou rozmanitost) v krajině.

Poznámky ke kapitole

- 1 Určitá omezení pro hospodaření v krajině jsou nastavena v chráněných krajinných oblastech a přírodních rezervacích – ty tvoří přibližně 17 % rozlohy ČR. Přísnější pravidla pak platí v národních parcích (ty pokrývají 1,5 % území).
- 2 Ministerstvo zemědělství. (2023). *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022*. [Dostupné online]
- 3 Český hydrometeorologický ústav. (2024). *Národní inventarizační dokument České republiky 2024*. [Dostupné online]
- 4 Metan (CH₄) a oxid dusný (N₂O) jsou výrazně silnější skleníkové plyny než oxid uhličitý. Jejich emise se přepočítávají na množství CO₂, které by způsobilo stejný oteplicí efekt (tzv. *Global Warming Potential*, GWP). Konkrétně ve stoletém časovém horizontu tuna metanu ohřeje planetu jako 27 tun CO₂ a tuna oxidu dusného jako 280 tun CO₂.
 - Wikipedia contributors. (2025). *Global warming potential*. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [Dostupné online]
- 5 Eutrofizace je proces obohacování vod o živiny, zejména dusík a fosfor, ze splachů hnojiv z polí. To vede k nadměrnému růstu řas a sinic a vodních rostlin a zpravidla i úbytku dostupného kyslíku ve vodě, což narušuje vodní ekosystém.
- 6 Doplnky krmiva, které snižují emise metanu, jsou předmětem aktivního výzkumu a pilotního používání. Jako nejvíce slibné se jeví použití určitých druhů mořských řas a syntetický doplněk 3-NOP (snížení množství produkováného metanu o 20–40 % u pasoucích se dojníc, v laboratorních podmínkách i vyšší). Dále jsou jako doplňky krmiva zkoumány dietní lipidy, taniny, esenciální oleje nebo biouhel.
 - Meo-Filho, P., Ramirez-Agudelo, J. F. a Kebreab, E. (2024). *Mitigating methane emissions in grazing beef cattle with a seaweed-based feed additive: Implications for climate-smart agriculture*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 121(50). [Dostupné online]
 - Mulhollem, J. (2020). *Feed supplement for dairy cows cuts their methane emission by about a quarter*. Penn State University. [Dostupné online]
 - Matthews, H. (2024). *The race to reduce methane*. Standard Dairy Consultants. [Dostupné online]
 - Hodge, I., Quille, P. a O'Connell, S. (2024). *A Review of Potential Feed Additives Intended for Carbon Footprint Reduction through Methane Abatement in Dairy Cattle*. Animals, 14(4), 568–568. [Dostupné online]
- 7 Přestože dobytek se šlechtí stovky let, šlechtění za účelem snížení emisí metanu je zatím v počátcích. Publikovaných článků v recenzovaných časopisech je jen málo. Bližší informace poskytuje např. článek
 - Wageningen University. (2025). *Methane emissions from cows and sheep can be reduced by 25 % using breeding programmes*. [Dostupné online].
- 8 O možnostech snižovat N₂O z hnojiv pojednává podrobněji zpráva International Fertilizer Association a Systemiq. (2022). *Reducing emissions from fertilizer use*. [Dostupné online], která ukazuje, že zlepšením tzv. *nitrogen use efficiency* a dalších technologických postupů by mohly globální emise z používání hnojiv klesnout o 69–72 %.
- 9 Český statistický úřad. (2024). *Spotřeba potravin – 2023*. [Dostupné online]
- 10 V diskuzích o uhlíkovém cyklu je třeba rozlišovat mezi zásobami uloženého uhlíku (uvádí se v tunách uhlíku) a množstvím plynného CO₂, které se jeho rozložením či spálením uvolní do atmosféry (uvádí se v

tunách CO₂). Jedna tuna uhlíku v biomase odpovídá 3,6 t CO₂ ve vzduchu. Údaje o obsahu uhlíku v zemědělské půdě a v lesích a mokřadech vycházejí z databáze Evropské agentury pro životní prostředí.

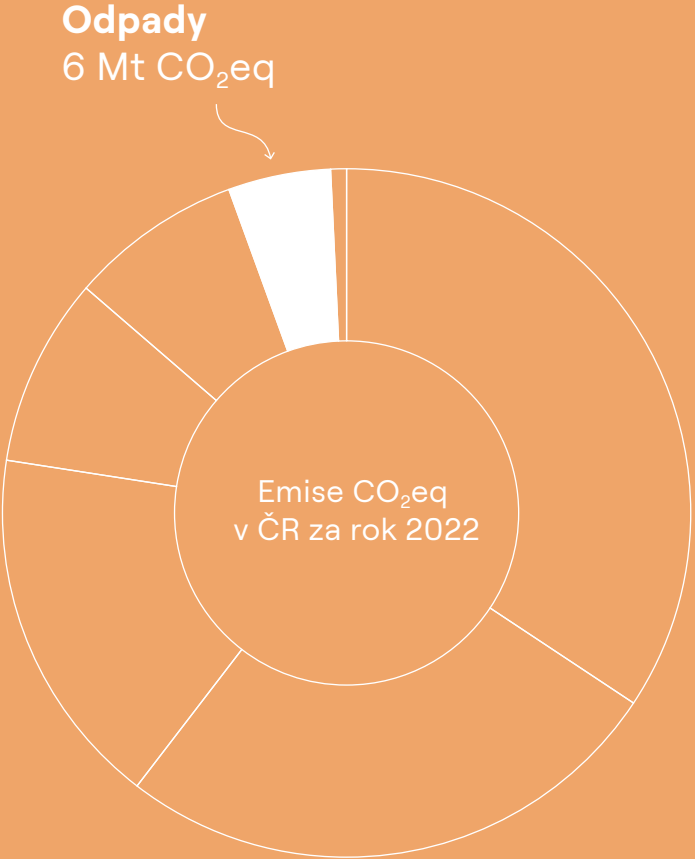
→ European Environment Agency. *Carbon storage in EU terrestrial and marine ecosystems (eea_carbon-storage_s)*. [Dostupné online]

- 11 Data o těžbách a vytěžených plochách v průběhu kůrovcové kalamity vychází ze satelitních měření portálu Kůrovcová mapa a dat Českého statistického úřadu. O příčinách a souvislostech kůrovcové kalamity lze najít informace ve Zprávě o stavu lesa a dalších článcích.
 - Národní lesnický institut a Lesnická práce. (2025). *Portál kůrovcová mapa*. [Dostupné online]
 - Český statistický úřad. (2024). *Statistická ročenka České republiky – 2024*. [Dostupné online]
 - Ministerstvo zemědělství. (2023). *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2022*. [Dostupné online]
 - Hlásny, T., Zimová, S., Merganičová, K., Štěpánek, P., Modlinger, R. a Turčáni, M. (2021). *Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications*. Forest Ecology and Management, 490, 119075. [Dostupné online]

- 12 Český hydrometeorologický ústav. (2024). *Národní inventarizační dokument České republiky 2024*. [Dostupné online]

- 13 Analýzy suché periody v Česku v letech 2015–2020 zpracoval CzechGlobe.
 - CzechGlobe, Ústav výzkumu globální změny AV ČR. (2021). *Zemědělské sucho překonalo mezi léty 2015–2018 všechny suché periody v posledních dvou tisíciletích*. [Dostupné online]
 - Büntgen, U., Urban, O., Krusic, P. J., Rybníček, M., Kolář, T., Kyncł, T., Ač, A., Koňasová, E., Čáslavský, J., Esper, J., Wagner, S., Saurer, M., Tegel, W., Dobrovolný, P., Cherubini, P., Reinig, F. a Trnka, M. (2021). *Recent European drought extremes beyond Common Era background variability*. Nature Geoscience, 14(4), 190–196. [Dostupné online]

- 14 Jako mýtní věk se označuje stádium vývoje lesa, kdy je les dostatečně vzrostlý a stromy mají silné kmeny vhodné k těžbě. V podmínkách Česka je to typicky mezi 80 a 100 lety.



Odpady

Odpadové hospodářství a emise skleníkových plynů

Tento sektor produkuje cca 5 % emisí Česka, v posledních 30 letech však tyto emise narostly o dvě třetiny. Největší podíl má metan z biologicky rozložitelného odpadu ukládaného na skládky, kam směřuje téměř polovina komunálního odpadu.

Kde tyto emise vznikají a jak je snížit

Zatímco v ostatních sektorech (s výjimkou dopravy) emise skleníkových plynů klesají, v odpadovém hospodářství nikoli – mezi lety 1990 až 2022 došlo k jejich **nárůstu o 67 %**. Naprostá většina (94 %) z toho je **metan (CH₄)**, který je 28× silnějším skleníkovým plynem než oxid uhličitý. Dalších 5 % je oxid dusný (N₂O) a 1,5 % je CO₂.¹

PROBLÉM

Dvě třetiny emisí sektoru (65 %) se uvolňují na skládkách při **rozkladu biologicky rozložitelného odpadu** (bioodpadu).

Další emise vznikají při zpracování **odpadních vod** (19 %).

Emise unikají také **z bioplynových stanic a při kompostování** (14 %).²

S odpady je navíc spojeno i různé další znečištění, např. kontaminace půdy či podzemních vod.

ŘEŠENÍ

Důkladněji třdit bioodpad, což umožní větší materiálové využití (jako organické hnojivo) i energetické využití (jako bioplyn a biometan). Energeticky a materiálově využívat kaly z odpadních vod.

Zakrýt sklady zbytků organické hmoty plynotěsným zastřešením a zachycený metan energeticky využívat.

Podrobněji je řešení popsáno na s. 200–201.

EMISE CO₂eq V ODPADOVÉM HOSPODÁŘSTVÍ



Zdroj dat: ČHMÚ, Národní inventarizační dokument 2024

Kolik odpadů se ročně v Česku vyprodukuje

V roce 2022 to bylo téměř **40 milionů tun**.³ Více než polovina z toho (24 Mt) byl **minerální odpad** – hlavně stavební a demoliční suť. Další významnou část (6 Mt) tvoří **recyklovatelné materiály** jako kovy, sklo nebo plasty. Tyto typy odpadu, společně s **chemickými odpady** a **vyřazenými zařízeními**, ovšem při správném využití či dalším zpracování nevytváří mnoho emisí skleníkových plynů.

Mnohem větším emisním problémem je **směsný odpad** – tedy odpad, který nebyl vytríděn. Část z něj tvoří bioodpad

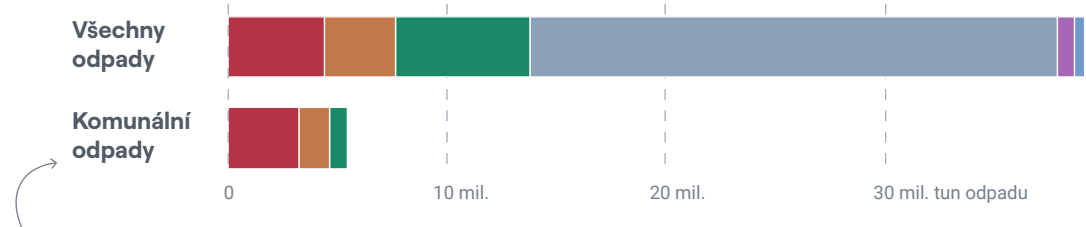
(např. zbytky potravin či tráva), jehož rozklad produkuje emise metanu. Podobně metan vzniká také při rozkladu **biologicky rozložitelného odpadu** (např. papíru a textilu).

Právě směsný odpad a biologicky rozložitelný odpad tvoří většinu **komunálního odpadu** – 4,6 Mt z celkových 5,5 Mt. Jde o odpad, který pochází z domácností, obchodů, služeb nebo kanceláří. Sbírá se v rámci obecních systémů nakládání s odpadem.

ODPADY VÝZNAMNÉ Z HLEDISKA EMISÍ METANU



ODPADY, KTERÉ NEVYTVÁŘÍ MNOHO EMISÍ

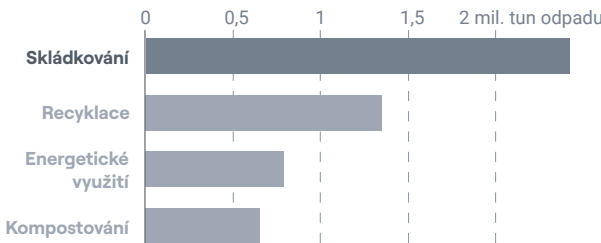


Další odpady mají v komunálním minimální zastoupení, proto je nezobrazujeme: chemický (0,1 %), minerální (0,2 %), vyřazená zařízení (0,6 %).

Zdroj dat: ČSÚ, Produkce, využití a odstranění odpadů – 2022

Jak se v Česku nakládá s komunálním odpadem

- **Téměř polovina komunálního odpadu míří na skládky** (2,4 Mt). Zde se rozkládá nevytríděný bioodpad a uvolňuje metan.
- Recykluje se 1,3 Mt.
- Dále se tento odpad využívá na výrobu energie v zařízeních pro energetické využití odpadu (spalovny) nebo v bioplynových stanicích (0,8 Mt). Emise zde vzniká méně než při skládkování.
- Kompostuje se 0,65 Mt.



Tyto způsoby nakládání s komunálním odpadem mají minimální zastoupení, proto je nezobrazujeme: zasypávání (0,3 %), spalování bez en. využití (0,1 %).

Zdroj dat: ČSÚ, Produkce, využití a odstranění odpadů – 2022

Dekarbonizace odpadového hospodářství

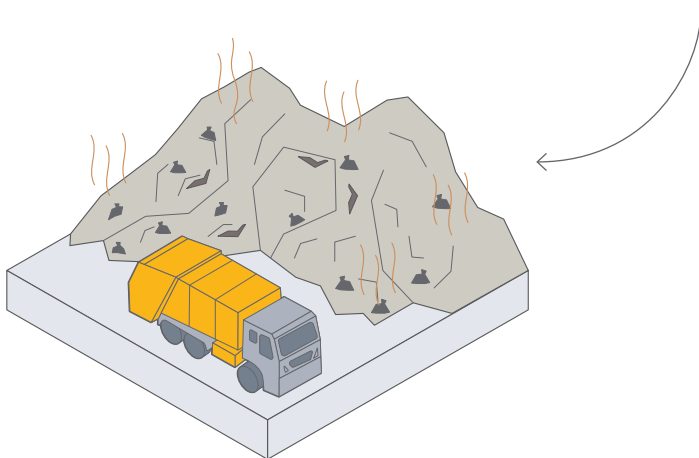
Protože většina emisí skleníkových plynů v tomto sektoru vzniká při rozkladu biologického odpadu na skládkách, je nejdůležitější skládkování tohoto odpadu minimalizovat. Znamená to jej důsledněji třídit a více jej materiálově či energeticky využívat.

PROBLÉM

Hlavní problém je skládkování biologicky rozložitelného odpadu

Právě tento odpad, který zůstává ve směsném komunálním odpadu (tedy v černých popelnicích), se na emisích skleníkových plynů podílí nejvíce.⁴ Konec jeho skládkování, k němuž směřuje i současná legislativa v Česku, tak může snížit emise sektoru o téměř dvě třetiny.

Tento odpad tvoří např. kuchyňské zbytky, travní hmota, textilie z přírodních vláken nebo papír. V prostředí skládky, kde chybí přístup kyslíku, dochází k anaerobnímu rozkladu a dlouhodobému uvolňování skládkového plynu (jehož hlavní součástí je metan), často přímo do atmosféry.



ŘEŠENÍ

Jak zredukovat biologicky rozložitelný odpad na skládkách

Důkladnější třídění

F Změny spotřebitelského chování

To by znamenalo především:

- ve většině obcí a měst zavést tříděný sběr kuchyňského bioodpadu – ideálně způsobem „dům od domu“⁵
- umožnit sběr odpadu nejen rostlinného, ale i živočišného původu
- ekonomicky zvýhodnit důkladné třídění – například zpoplatnit směsný odpad podle vyprodukovaného množství, vytríděný odpad naopak umožnit odevzdávat zdarma

Dále může pomoci:

- konec skládkování stanovený zákonem na rok 2030⁶
- postupné navyšování poplatků za ukládání odpadu na skládky
- osvětové kampaně pro obce i jednotlivce

Materiálové a energetické využití

D Změny paliv a technologických postupů

Vytříděný bioodpad je možné využít jako **organické hnojivo**. To může vést také ke snížení využívání průmyslových hnojiv, jejichž výroba je energeticky i emisně náročná a při jejichž využívání v zemědělství se uvolňují další emise – především silný skleníkový plyn oxid dusný (N₂O).

Vytříděný bioodpad je možné využít i pro získávání bioplynu a jeho úpravě na biometan,⁷ jimiž lze zčásti nahradit fosilní zdroje (především zemní plyn) a využít je například:

- **k výrobě elektřiny a tepla** v kogeneračních jednotkách
- **jako palivo v dopravě**
- **pro lokální vytápění, ohřev vody nebo vaření** v domácnostech místo zemního plynu

Více o energetickém využití odpadů viz s. 116.

Aby bylo možné využívat veškerý bioodpad, je třeba dobudovat **kapacity odpadových bioplynových stanic** (případně modernizovat ty zemědělské, aby mohly přijímat i bioodpad). Jde o důležitou podmínku pro důkladnější třídění bioodpadu.⁸

ŘEŠENÍ

Jak řešit další emise z odpadového hospodářství

Co s kaly z odpadních vod

D Změny paliv a technologických postupů

Čistírenské kaly vznikající při čištění odpadních vod obsahují hlavně organickou hmotu, zbytky živin a mikroorganismy. Pokud tyto kaly nejsou správně uskladněny nebo zpracovány v uzavřených systémech, dochází k jejich rozkladu a unikání metanu do ovzduší. Tyto kaly lze využít pro **získávání bioplynu a následně biometanu**, čímž je možné navyšovat i energetickou nezávislost čistíren odpadních vod – část potřebné energie si totiž vyrobí samy. Kaly je po úpravě možné využít také jako **organické hnojivo nebo zdroj cenných živin**, například fosforu a dusíku.

Co s úniky z bioplynových stanic

D Změny paliv a technologických postupů

Zakrýt je plynotěsným zastřešením – to zabrání unikům skleníkových plynů tam, kde se nezakrytě skladuje tzv. digestát (zbytková organická hmota vznikající po výrobě bioplynu). Zachycený zbytkový plyn, který by jinak unikl do ovzduší, lze **energeticky využít** k výrobě elektřiny, tepla nebo po vyčištění i jako biometan.

Cirkulární ekonomika a snižování emisí

Emise skleníkových plynů nesouvisí jen s odpady, ale celým životním cyklem věcí, které používáme. Jejich snižování se proto týká i těžby surovin a výroby produktů. Cirkulární ekonomika hledá způsoby, jak tuto emisní (a také materiálovou) náročnost výrobků snížit, například díky jejich opětovnému využití nebo recyklaci materiálů a cenných surovin.

PROBLÉM

Emise vznikají už při výrobě produktů

Většina emisí vzniká už při těžbě surovin, výrobě a dopravě produktů. A nejde pouze o skleníkové plyny: nové materiály mohou znamenat také další spotřebu energie, jiné znečištění a mít další environmentální dopady.

Aby si materiály co nejdéle uchovaly svou hodnotu a zároveň byla zátěž s nimi spojená co nejmenší, snaží se **cirkulární ekonomika** model „vytěžit–vyrobit–dopravit–použít–vyhodit“ nahradit cyklem a podpořit opětovné použití, opravy, recyklaci nebo lepší design výrobků.

ŘEŠENÍ

Jak tyto emise snižovat

Neplytvat zdroji

Tedy nepořizovat více potravin nebo výrobků, než je možné spotřebovat či využít. A upřednostňovat kvalitní, dobře designované produkty s dlouhou životností, které lze snadno opravit či rozebrat na části k dalšímu využití. Všude, kde to dává smysl, je též vhodné snižovat množství obalů.

Zvýhodnit odpovědné výrobce

Kromě legislativních požadavků by výrobce mohlo motivovat i ekonomické zvýhodnění – například nižší poplatky za následné nakládání s výrobky po skončení jejich životnosti, pokud splňují kritéria jako delší životnost nebo nižší materiálová náročnost.

Efektivně využívat materiály a lépe plánovat

Při dobře naplánovaných demolicích nebo rekonstrukcích lze velké množství materiálů znovu využít – cihly, dřevo či okna z demolice tak nemusí končit na skládce. Stejný princip platí i pro vysloužilé technologie, ze kterých lze získat vzácné suroviny, například lithium, kobalt či měď.

Udržovat výrobky v oběhu

S tím mohou pomáhat opravny, půjčovny věcí či prodej výrobků z druhé ruky. U obalů hrají důležitou roli systémy zálohování – díky nim se obaly mohou vrátit zpět a být opakovaně využity nebo kvalitně recyklovány.

KONCEPT

Hierarchie nakládání s odpady: méně nových výrobků – méně emisí

Tento koncept ukazuje, jak s materiály zacházet tak, aby bylo nutné vyrábět co nejméně nových věcí – a tím se snižovaly i emise skleníkových plynů v celém životním cyklu výrobků.

Ale též nižší spotřeba zdrojů, menší znečištění půdy, vody a vzduchu toxickými látkami a méně mikroplastů

Předcházet vzniku odpadu

(„nejlepší odpad je ten, který nevznikne“)



Nižší spotřeba materiálu i emise z výroby a dopravy

Výrobek nebo jeho část (např. obal) vůbec nevznikne



Použít věc či její část znovu



Žádné emise z výroby nové věci

Výrobek se využije znovu – např. repasovaná elektrozařízení, nábytek, znovupoužitelné obaly, znovupoužití součástí z vyřazených technologií na výrobu nových



Recyklovat



Často nižší emise z recyklace existujících surovin než z těžby nových

Např. recyklování kovů, kompostování bioodpadu, znovuzískávání kritických prvků z baterií (lithium, kobalt, nikel)



Nerecyklovatelné využít na výrobu energie



Energetické využití materiálu

Např. výroba bioplynu a biometanu z bioodpadu, spalování nevyužitelného a nerecyklovatelného odpadu v zařízeních pro energetické využití odpadu (spalovny)



Uložit na skládku



Emise a jiné znečištění

Cenné materiály zůstávají navždy v hloubi skládky a místo nich je nutné vyrobit nové (tedy spotřebovat další primární zdroje)

Poznámky ke kapitole

- 1

Metan (CH₄) se uvolňuje při rozkladu biologicky rozložitelného odpadu na skládkách, v kompostárnách, bioplynových stanicích i při čištění odpadních vod. Oxid dusný (N₂O) vzniká především v čistírnách odpadních vod jako vedlejší produkt rozkladu látek obsahujících dusík. Oxid uhličitý (CO₂) je výsledkem spalování odpadu.

→ Český hydrometeorologický ústav. (2024). *Národní inventarizační dokument České republiky 2024*. [Dostupné online]
- 2

Přibližně ze 2 % se na emisích skleníkových plynů z odpadového hospodářství (z 0,1 % na celkových emisích Česka) podílí také spalovny bez energetického využití odpadu. To jsou zařízení, která spalují například průmyslový nebo zdravotnický odpad. V běžné mluvě se však jako spalovny označují i zařízení pro energetické využití odpadu (ZEVO). Emise ze ZEVO ale v emisní inventarizaci spadají do sektoru energetika a podílí se na přibližně 0,2 % emisích Česka.

→ Český hydrometeorologický ústav. (2024). *Národní inventarizační dokument České republiky 2024*. [Dostupné online]
- 3

Český statistický úřad. (2023). *Produkce, využití a odstranění odpadů – 2022*. [Dostupné online]
- 4

Již vytríděný bioodpad na skládky ukládat nelze, je potřeba jej materiálově nebo energeticky využít.
- 5

Angl. *door-to-door*. Jde o sběr tříděného odpadu přímo od domů pomocí barevných popelnic nebo pytlů, což je pro obyvatele pohodlnější než donáškový systém.
- 6

Podle současné legislativy by od roku 2030 neměly být skládkovány odpady, které je možné – ať už materiálově, nebo energeticky – využít.

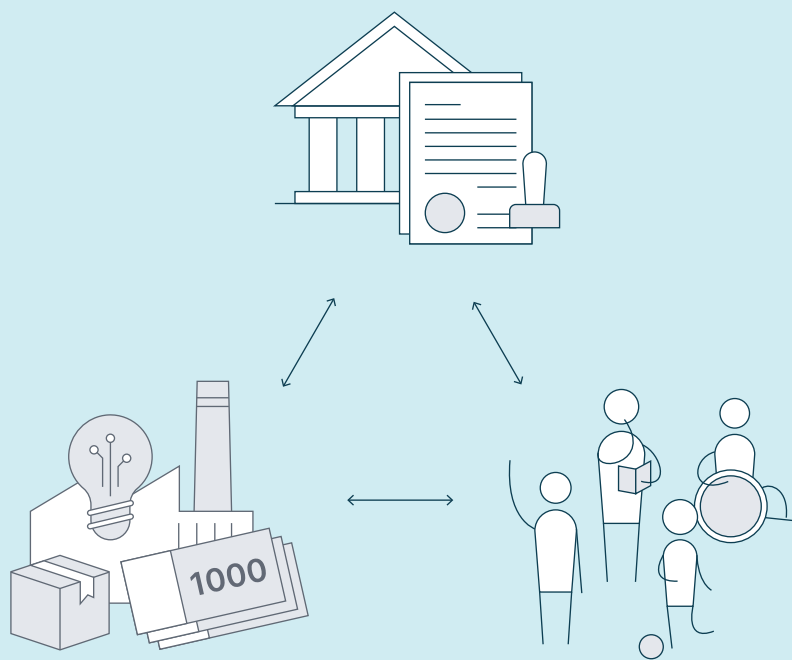
→ Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech
- 7

V bioplynových stanicích se bez přístupu vzduchu přirozeně uvolňuje bioplyn – směs metanu a oxidu uhličitého. Tento bioplyn může být využit přímo k výrobě energie nebo dále vyčištěn na téměř čistý biometan, který slouží jako náhrada zemního plynu.
- 8

Aby bylo možné sbírat od obyvatel a podniků veškerý bioodpad a tento odpad se nemusel vozit na velké vzdálenosti, je nutné mít po celém Česku rovnoměrně rozmístěné odpadové bioplynové stanice. Znamená to jejich výstavbu, případně dovybavení zemědělských bioplynových stanic a bioplynových stanic na čistírnách odpadních vod zařízeními na předúpravu a hygienizaci biologicky rozložitelného odpadu.

DALŠÍ ZDROJE K TÉMATU

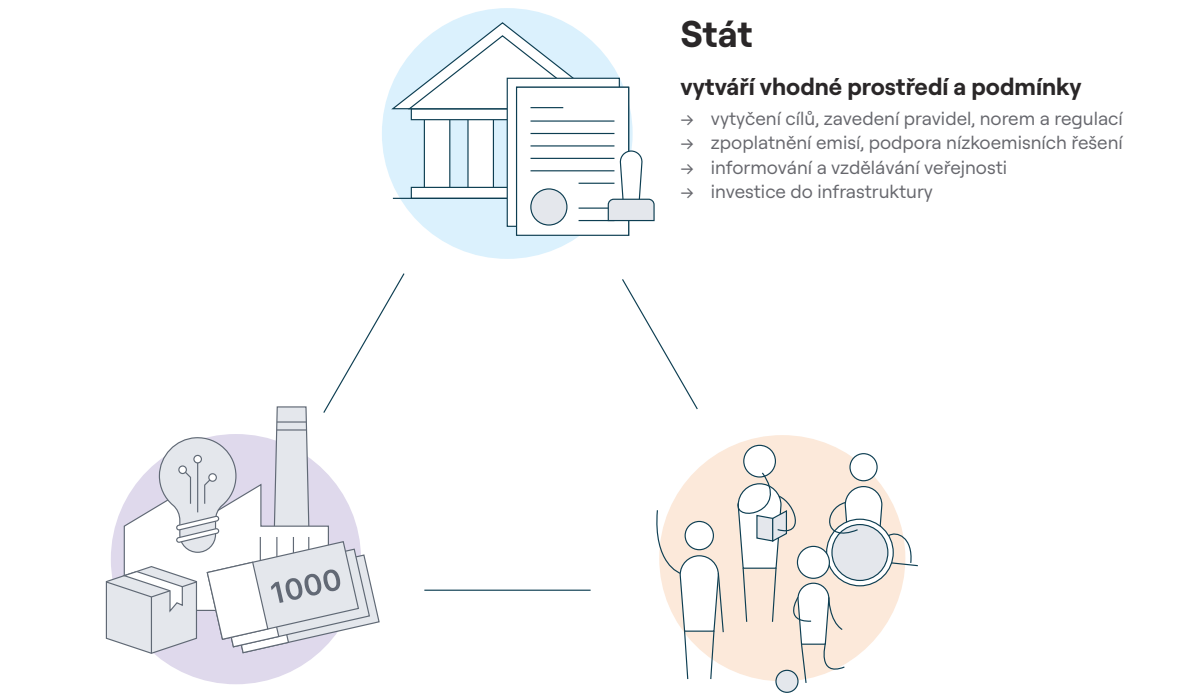
- Ministerstvo životního prostředí. (2021). *Strategický rámec Cirkulární Česko 2040*. [Dostupné online]
- Evropská komise. (2020). *Nový akční plán pro oběhové hospodářství: Čistší a konkurenceschopnější Evropa*. [Dostupné online]
- Novotný, P. (2024). *Zálohování nápojových obalů bude pro obce po finanční stránce výrazně pozitivní*. Institut cirkulární ekonomiky. [Dostupné online]



Ekonomický a společenský rozměr dekarbonizace

Role státu, firem a lidí v dekarbonizaci

Zjednodušeně lze říci, že na dekarbonizaci se podílejí tři hlavní skupiny aktérů: stát, firmy a lidé. Každá z nich má jinou roli a jiné nástroje a jenom díky jejich spolupráci může být dekarbonizace úspěšná. Zásadní je role státu, který nastavuje pravidla hry a může tak podpořit snížení emisí na úrovni celého systému a zároveň firmám a lidem usnadnit potřebné kroky.



Firmy

dekarbonizují výrobu a služby

- elektrifikace a přechod na nízkoemisní elektřinu
- efektivní využívání zdrojů
- zavádění nových, nízkoemisních technologií
- investice do změn a inovací

Stát

Úlohou státu je vytvářet vhodné prostředí a podmínky pro to, aby dekarbonizace probíhala rychle, efektivně a transparentně, a aby byla ekonomicky výhodná, sociálně spravedlivá a měla potřebnou společenskou podporu. K tomu lze využít různé nástroje:

- **regulatorní** – může jít například o cíle pro snížení emisí skleníkových plynů či výkonnostní normy, které stanovují limity pro emise znečišťujících látek (pro auta, uhelné elektrárny aj.), také lze upravit stávající pravidla (např. zrychlit povolovací procesy pro obnovitelné zdroje)
- **ekonomické** – zpoplatnění emisí (např. uhlíkové daně či obchodování s emisemi), daňové úlevy, dotace a další formy podpory nízkoemisních technologií
- **informační** – strategie (např. Státní energetická koncepce), pravidla pro reporting a zveřejňování informací (např. ESG¹), označování výrobků a služeb (např. energetické štítky) vzdělávání (včetně rekvalifikace) a osvětové kampaně
- **investice do infrastruktury** v řádu miliard korun, o nichž rozhoduje stát, ale zapojuje do nich i firmy (např. železnice, přenosová soustava)

Důležité přitom nejsou jenom jednotlivé nástroje, ale i jejich vhodná kombinace tak, aby se vzájemně doplňovaly a posilovaly.

Stát jsou ale také obce a místní samosprávy, které na místní úrovni například rozhodují o investicích a snaží se zapojit občany. Rozhodnutí vznikají také mezi státy – v případě Česka jde zejména o EU.

Kromě státu, firem a lidí se na dekarbonizaci podílejí i další aktéři – mezinárodní organizace jako OSN, nevládní organizace, profesní sdružení, odborové organizace, banky, média, vzdělávací instituce a think tanky, média nebo kulturní instituce a církve.

Firmy

Firmy mohou dekarbonizovat svou výrobu a služby například:

- přechodem na nízkoemisní elektřinu a elektrifikací výrobních procesů
- nižší spotřebou materiálů, vyšší efektivitou výroby a využíváním principů oběhového hospodářství
- vývojem a zaváděním nízkoemisních technologií
- investicemi do potřebných změn a inovací

Některé firmy čekají spíše menší změny – např. v sektoru služeb může často stačit přejít na nízkoemisní elektřinu, sídlit v nízkoenergetické budově, případně změnit dodavatele. Pro jiné firmy bude naopak dekarbonizace znamenat zásadní proměny celých výrobních procesů – týká se např. tepláren, oceláren nebo chemické výroby. Právě tyto firmy patří z hlediska snižování celkových emisí mezi ty nejdůležitější. Dekarbonizaci průmyslové výroby a výroby elektřiny a tepla jsou věnovány samostatné kapitoly.

Lidé

Největší část emisí Česka souvisí s celkovým fungováním energetiky a průmyslu, na což mají jednotlivci jen malý přímý vliv. Přesto bude **aktivní participace a podpora** jednotlivců pro úspěch dekarbonizace rovněž zásadní – každý stát má také své občany a voliče, jsou zde živnostníci i zaměstnanci firem. Ti všichni mohou iniciovat, prosazovat a realizovat změny.

Vedle toho mohou lidé také snižovat emise (a provozní náklady) svých domácností potřebnými **investicemi** – do zateplení, pořízení tepelného čerpadla, fotovoltaiky, elektromobilu a podobně. K dekarbonizaci mohou rovněž přispět **změny spotřebního chování** – např. větší využití hromadné dopravy či nižší spotřeba masa a mléčných výrobků.

Přínos regulatorních nástrojů pro dekarbonizaci

Chytrý a promyšlený mix regulatorních nástrojů může dekarbonizaci výrazně urychlit a zároveň zlevnit. Aniž bychom si někdy existenci regulací vůbec uvědomovali, napomáhají tomu, že dýcháme čistší vzduch, kupujeme stále úspornější spotřebiče nebo jezdíme auty s nižší spotřebou.

Co jsou výkonnostní normy

Pro různá zařízení, paliva i celé sektory **určují, jaké úrovně musí provoz či výsledné produkty dosahovat**. Může jít třeba o stanovení minimální energetické účinnosti u průmyslových kotlů či pecí nebo u domácích spotřebičů, o emisní limity pro spalování paliv v elektrárnách či domácnostech nebo o energetické standardy pro stavbu a renovaci budov.²

Důležité jsou zejména **tam, kde cena nefunguje jako dostatečná motivace**. Většina spotřebitelů například není ochotna investovat do efektivnějších spotřebičů nebo aut, pokud se jim vyšší kupní cena nevrátí v horizontu jednoho nebo dvou let. Přitom ale rychlejší rozšíření efektivnějších spotřebičů a aut vede k rozsáhlým úsporám v celé ekonomice a je výhodné i pro spotřebitele.

V různé podobě **výkonnostní normy využívají vyspělé ekonomiky po celém světě**: například standardy stanovující maximální spotřebu nebo emise aut platí na všech hlavních automobilových trzích včetně USA, Japonska, Číny a Indie.

Stejně jako jiné regulatorní nástroje (zákony, vyhlášky, změny pravidel apod.) je ovšem i **výkonnostní normy vždy nutné dobře promyslet**. Jejich špatné nastavení totiž může vyvolávat odpor, z něhož se časem může stát i odmítání dekarbonizace jako takové.

Příklad regulatorního nástroje

Proč je zavádět?

- **Umožňují řešit negativní externalitu** (např. znečištění vzduchu a vody), které vznikají v tržním prostředí, a tím zlepšují kvalitu života.
- **Podporují investice do dalšího vývoje** a dlouhodobé inovace (a tím i další dekarbonizaci).
- **Zvyšují nabídku** konkurenceschopných, efektivních, **nízkouhlíkových technologií**.
- **Posilují soutěž**, jak vyrobit nejlevnější řešení.

Čím se vyznačují dobře nastavené výkonnostní normy?

- Firmám i domácnostem **dávají dlouhodobou jistotu a umožňují plánovat** (až roky dopředu).
- Mají v sobě **mechanismus postupného zpřísňování standardu**. Cíle by měly být dostatečně ambiciózní, ale stále ještě technicky a finančně možné.
- **Zaměřují se na výsledek**, jehož má být dosaženo, **ne na technologii**. Tím nechávají firmám dost volného prostoru pro inovace – jak co nejlevněji tohoto výsledku dosáhnout.
- **Defnují jednoduchý, jasný cíl**, který není snadné obejít nebo splnit jen naoko.

PŘÍKLADY VÝKONNOSTNÍCH NOREM V EU

Ekodesign a energetické štítky

Ekodesign – upravuje minimální požadavky na kvalitu produktů, které mohou vstoupit na evropský trh. Týkájí se zejména energetické účinnosti při jejich používání (což vedlo např. k vyřazení halogenových žárovek), ale stále více i spotřeby materiálů za celý životní cyklus – např. požadavek na dostupnost náhradních dílů pro pračku min. 10 let po uvedení poslední jednotky na trh.

Energetické štítky – uvádějí, jak si daný produkt v rámci těchto standardů vede. Ovlivňují tak spotřebitelský výběr při nákupu a zároveň podporují soutěž mezi výrobci, aby své produkty stále zlepšovali a tyto produkty dosahovaly na informačních štítcích nejvyšších tříd.

Oba nástroje se doplňují: normy pro ekodesign vyřazují z trhu produkty s nejnižší výkonností, naopak energetické štítky pomáhají spotřebitelům vybírat ty nejúčinnější. Tím dochází k ekonomickým úsporám i ke snižování emisí.

ENERGETICKÉ ÚSPORY
za rok 2022

1 072 TWh

To odpovídá 7 % veškeré spotřeby primární energie v EU

FINANČNÍ ÚSPORY
za rok 2022

23 750 Kč

Ročně pro průměrnou evropskou domácnost

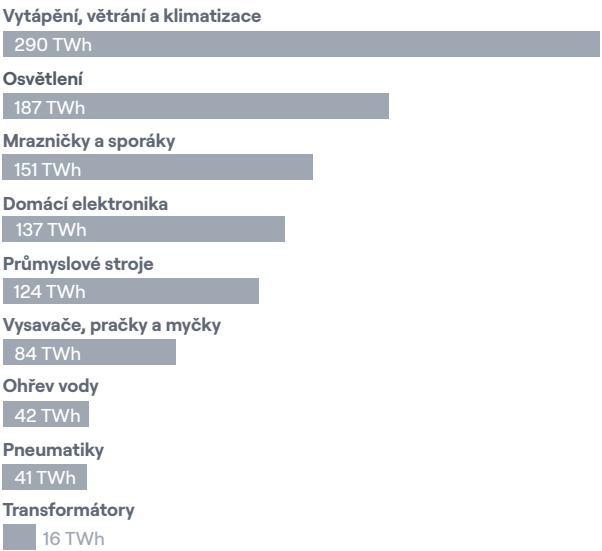
EMISNÍ ÚSPORY
za rok 2022

135 Mt CO₂eq

To představuje 4,4 % veškerých emisí EU

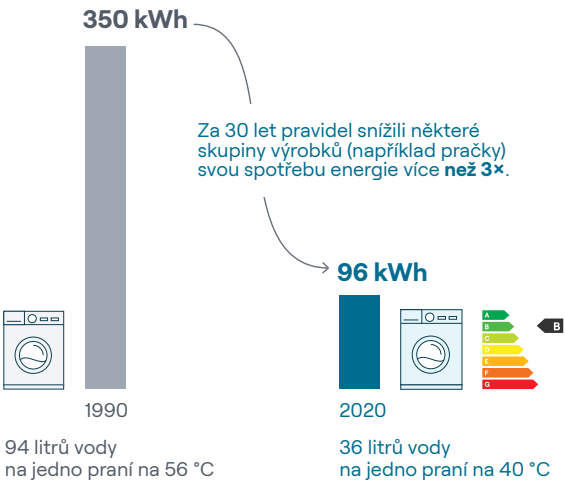
ENERGETICKÉ ÚSPORY
za rok 2022

ROČNÍ ENERGETICKÉ ÚSPORY V EU



Úspory se kalkulují vzhledem k základnímu scénáři, který odhaduje vývoj technologií bez zavedení pravidel.

ROČNÍ SPOTŘEBA PRŮMĚRNÉ PRAČKY



Zdroj dat: European Commission, Ecodesign Impact Accounting Overview Report 2023

Přínos ekonomických nástrojů pro dekarbonizaci

Podobně jako u regulatorních nástrojů (viz předchozí stranu) je i u těch ekonomických důležité, aby se navzájem dobře doplňovaly. Lze je rozdělit do dvou skupin – na nástroje, které motivují k omezení negativních dopadů dané činnosti na klima a životní prostředí (např. emisní povolenky), a nástroje, které zvýhodňují aktivity, jež jsou pro ochranu klimatu žádoucí (např. investiční podpora pro rozvoj obnovitelných zdrojů).

Zpoplatnění emisí

Motivuje k omezení aktivit s negativním dopadem na klima a životní prostředí

Jde o princip „znečišťovatel platí“. Zároveň **z výnosů získává stát prostředky do státního rozpočtu**, jež pak lze využít např. na další investice v dekarbonizaci či podporu sociálně a ekonomicky znevýhodněných skupin. V EU emisní povolenky financují např. Modernizační fond (viz pravou stranu).³

Zpoplatnění emisí patří k nejeefektivnějším nástrojům pro jejich snižování, zejména pokud je doplněno o další opatření. Dnes **jde zejména o systémy obchodování s emisními povolenkami a uhlíkové daně**. Ty motivují producenty i spotřebitele, aby upřednostňovali nízkoemisní alternativy a snížili svou spotřebu fosilních paliv. Zároveň doplňují trh, který negativní dopady činností na životní prostředí nebere v potaz – neodráží je v ceně. Producenty tak vedou k dekarbonizaci výroby, spotřebitele například k renovaci bydlení nebo změně způsobu dopravy. Některé země a regiony využívají pouze jeden nástroj (povolenky nebo daně), jiné je kombinují.

V rámci EU také začne od roku 2026 fungovat tzv. **mechanismus uhlíkového vyrovnání na hranicích** (*Carbon Border Adjustment Mechanism*, CBAM), který bude po producentech emisně náročných produktů jako cement, ocel, elektřina apod. vyrábějících mimo EU vyžadovat srovnatelný poplatek za emise, jako dnes platí unijní výrobci.⁴ Cílem je narovnat trh a zamezit riziku přesunu emisí do zemí s nižšími environmentálními standardy.

Co jsou emisní povolenky

Systém obchodování s emisními povolenkami (*Emission Trading System*, ETS) – podniky, které jsou součástí tohoto systému, musí za každou vyprodukovanou tunu emisí vyřadit jednu povolenku (tu si předtím koupí na trhu). Cenu povolenky přitom určuje nabídka a poptávka: povolenek je omezené množství a čím více tun emisí je jimi potřeba pokrýt, tím vyšší je i cena za ně.⁵ Navíc se během let množství povolenek v oběhu (a tedy i množství emisí, které lze každoročně vypustit) postupně snižuje, aby mohlo být dosaženo předem stanovených emisních cílů. ETS systémy fungují už ve 36 státech nebo regionech, i mimo Evropu.⁶ V EU je to:

- **EU ETS 1** – zahrnuje energetiku, průmysl, letectví a námořní dopravu
- **EU ETS 2** – v budoucnu zahrne emise z paliv v silniční dopravě, budovách, malé energetice a průmyslu⁷

Co je uhlíková daň

Tato daň určuje cenu za emise skleníkových plynů. Na rozdíl od systému ETS nestanovuje konkrétní cíle (kolik emisí má být sníženo). Díky předem definované ceně je ale předvíatelnější pro firmy, jež pak mohou její vliv jednoduše zahrnout do svých plánů. V současnosti funguje ve 39 zemích nebo regionech.⁸

Ekonomické pobídky

Zvýhodňují aktivity, které jsou pro ochranu klimatu žádoucí

Může jít o **investiční nebo provozní podporu**. Ta je důležitá pro počáteční rozvoj technologií či infrastruktury, které by těžko vznikly na čistě tržní bázi. Zároveň pomáhá občanům a firmám dosáhnout na nízkoemisní řešení, jež jsou pro ně z různých důvodů nedostupná. Navíc je dotační podpora nebo daňové úlevy často společensky přijatelnější než zpoplatnění emisí – působí totiž jako výhoda. Nejlépe ale funguje kombinace obou typů nástrojů.

Investiční podpora

Snižuje náklady na počáteční investice do technologií a infrastruktury (tzv. *CAPEX*). Zahrnuje dotační programy, zvýhodněné půjčky nebo daňové úlevy (např. na nákup nízkoemisních technologií).

Příklad: Modernizační fond

Cílem fondu je modernizovat a dekarbonizovat energetiku a průmysl 13 zemí EU, jež mají relativně nižší HDP na osobu (včetně Česka). Finance směřují do obnovitelných zdrojů, modernizace teplárenství, energetické účinnosti, dopravy či komunitní energetiky. Fond financují výnosy z prodeje emisních povolenek. Čím vyšší je cena povolenky, tím více peněz do fondu putuje.

Příklady ekonomických nástrojů využívaných dnes v Česku

- Obchodování s emisními povolenkami
- Dotační programy (Modernizační fond, Nová zelená úsporám aj.)
- Zelené bonusy a garantovaná výkupní cena pro dříve instalovanou fotovoltaiku
- Aukce k získání provozní podpory pro obnovitelné zdroje

Provozní podpora

Snižuje průběžné náklady spojené s provozem a zvyšuje jistotu návratnosti (tzv. *OPEX*). Patří sem třeba garantované výkupní ceny za obnovitelnou elektřinu, daňové úlevy na provozní výdaje (např. při úspoře energií) či dotace na pravidelnou údržbu.

Příklad: Státní podpora nízkoemisních zdrojů

Smluvní podpora dává výrobcům elektřiny větší jistotu návratnosti investice a snižuje riziko. Může vypadat například jako:

- Feed-in tarif – stát výrobcům elektřiny dlouhodobě garantuje určitou cenu za jednotku bez ohledu na trh. Toto schéma úspěšně zafungovalo např. v Německu, kde feed-in tarif výrazně podpořil rozvoj solární a větrné energetiky.⁹ Rizikem může být stanovení příliš vysoké ceny, a tedy i větší zatížení spotřebitelů.
- Contract for Difference – jde o oboustrannou garanci smluvně určené ceny elektřiny mezi státem a výrobcem. Pokud cena, za kterou výrobce elektřinu prodá na trhu, klesne pod tuto úroveň, stát doplatí výrobcí rozdíl. Je-li tržní cena vyšší, výrobce odvede přebytek státu. Ve Velké Británii toto schéma výrazně snížilo náklady na budování větrných elektráren na moři.¹⁰

Náklady dekarbonizace: kolik to bude stát?

Zatímco při nákupu zubní pasty nebo objednání šálku kávy člověka zajímá jen počáteční cena, v případě dekarbonizace nejsou náklady jednorázové. Jde o komplexní a dlouhodobý proces, u kterého je třeba započítat provozní výdaje a srovnávat různé scénáře.

Někde se dekarbonizace vyplatí

I přes počáteční investice snižují některá dekarbonizační opatření provozní náklady natolik, že se dlouhodobě vyplatí.

Jako příklad lze uvést **náklady pro domácnosti**: jedním z významných dekarbonizačních kroků je zateplení domu. To na počátku sice vyžaduje investici v řádu stovek tisíc korun, významně to však ušetří peníze za energii na vytápění – a zejména v případě starého domu se to rozhodně vyplatí.

Podobné je to ale i s provozními **náklady na úrovni celého státu**: Česko ročně nakoupí ropy a plyn za zhruba 170 miliard korun (tedy zhruba 2,5 % HDP), např. z Ruska, Ázerbájdžánu, Kazachstánu či Norska.¹¹ Téměř všechna ropa se spálí v dopravě, plyn se používá pro výrobu elektřiny a tepla v budovách i průmyslu. Elektrifikace dopravy a výroba nízkoemisní elektřiny a tepla by sice vyžadovala významné investice (do aut, elektráren, sítě i zateplení budov), ale ve výsledku by vedla k úspoře za nákupy ropy a plynu a navíc k menší energetické závislosti Česka na jiných zemích.

Jinde budou dodatečné náklady

Dodatečné náklady se mohou týkat některého z materiálů používaného při výrobě produktů, **konečnou cenu produktu ale ovlivní jen málo**. Příkladem může být zachytávání emisí CO₂ při výrobě cementu – to s sebou nese dodatečný náklad, který by cenu cementu zvýšil řádově o 75 %.¹² Pro cement je to velké zdražení, je však důležité si uvědomit, že cement představuje pouze část nákladů na výrobu betonu a beton zase jen velmi malou část celkových nákladů na stavbu domu (obvykle do 3 %). Výroba nízkoemisního cementu by tedy zdražila domy nanejvýš v řádu 1–2 %.¹³ Podobně málo by se nízkoemisní výroba železa projevila na výsledné ceně automobilu.

Pro každý takový případ, ať už jde například o zachytávání CO₂ při výrobě cementu nebo o výrobu oceli pomocí nízkoemisního vodíku, lze spočítat **náklady na snížení emisí**.¹⁴ Zpravidla se vyjadřují v dolarech na tunu nevypuštěného CO₂ a jejich porovnání u různých technologií státům a investorům umožňuje se strategicky rozhodovat, jak efektivně vynaložit prostředky, které jsou pro snížení emisí dostupné.

Analýzy ukazují, že **jen u malé části emisí je snížení opravdu drahé**.¹⁵ Většinu emisí je možné eliminovat s nízkými nebo zápornými náklady (do 50 \$/t CO₂) a jen v tzv. hard-to-abate sektorech, jako je letecká doprava či výroba surového železa, jsou náklady vysoké (50–500 \$/t CO₂).

Srovnání nákladů pomocí scénářů budoucnosti

Náklady na komplexní proměnu hospodářství, která je s dekarbonizací spojena, je nejlepší srovnávat pomocí modelování různých scénářů budoucího vývoje světa. Tímto modelováním se zabývá řada analytických společností,¹⁶ zaměřují se typicky na scénáře pokračování současných politik a na scénáře klimatické neutrality a jejich **modely se v základních** obrysech výsledků pro celý svět shodují.

Scénáře současných politik

Modelují svět, v němž je další vývoj ponechán na trhu. Tedy zahrnují stávající legislativu, jež ovlivňuje tržní prostředí, a nepředpokládají vyšší ambice v klimatické politice. Dekarbonizace probíhá jen tam, kde snižuje celkové náklady systému nebo přináší ekonomickou návratnost pro spotřebitele.

Co modelování ukazuje? V případě ponechání vývoje na trhu (nákladově optimální cesta) by vrchol světových emisí skleníkových plynů nastal někdy okolo roku 2030. V dalších dekádách by pak emise stagnovaly nebo mírně klesaly a svět by mířil k celkovému oteplení okolo 3 °C v roce 2100.

Scénáře klimatické neutrality

Modelují cestu, na které může svět s nejnižšími náklady dosáhnout nulových emisí do roku 2050. Počítá se v nich s postupným zdokonalováním v současnosti známých technologií, ale nepředpokládá se žádný převratný objev či průlom. Zároveň vyžadují od států a dalších aktérů zvýšení současných ambicí k dekarbonizaci a přijetí odpovídajících opatření.

Co modelování ukazuje? V případě vývoje dle scénáře klimatické neutrality by se oteplení do roku 2100 udrželo pod 2 °C. Investice do energetických technologií a infrastruktury jsou v těchto scénářích jen o 1–2 % světového HDP vyšší než ve scénářích současných politik, ale **významně se liší v tom, kam investice míří**.

PŘÍKLAD

V modelování celosvětového vývoje od analytické společnosti BloombergNEF¹⁷ jsou náklady obou scénářů vyčísleny následovně. Ve scénáři současných politik bude do energetických technologií v letech 2025–2050 investováno **185 bilionů dolarů**, zatímco pro transformaci ke klimatické neutralitě by bylo potřeba **213 bilionů dolarů**, tedy o zhruba 15 % více (což odpovídá řádově 1 % světového HDP během těchto 25 let). Klíčový rozdíl nespočívá ve velikosti investic, nýbrž v jejich přesměrování do nízkoemisních technologií, jako jsou obnovitelné zdroje, elektromobily, tepelná čerpadla, technologie pro zachytávání uhlíku a nezbytná síťová infrastruktura.

Srovnání nákladů dekarbonizace a dopadů klimatické změny

Ve srovnání s náklady spojenými s dopady klimatické změny jsou náklady na dekarbonizaci výrazně nižší.

Dopady klimatické změny představují pro společnost náklady, které nejsou zahrnuty v cenách produktů a služeb, jejichž výroba ke změně klimatu přispívá. Tyto náklady často platí společnost, například daňoví poplatníci (hrazení škod způsobených extrémním počasím z veřejných rozpočtů) nebo může jít o přímé náklady poškozených jednotlivců

a místních komunit. Zároveň tyto náklady snižují celkové bohatství a blahobyt společnosti. Právě proto je klíčové srovnávat náklady na dekarbonizaci s ekonomickými škodami a dalšími náklady, které by společnost musela platit v případě, že by klimatickou změnu neřešila.

Čím vyšší teplota, tím větší škody a dopad na HDP

Vědecké studie se dnes shodují na tom, že čím více poroste průměrná globální teplota, tím větší škody a negativní dopad na hrubý domácí produkt (HDP) lze očekávat. Může jít například o následující dopady:

- **Poškození či zničení majetku a infrastruktury:** častější a intenzivnější extrémní události, jako jsou povodně, požáry a sucha, způsobují rozsáhlé škody na infrastruktuře a lidských obydlích. Odstraňování těchto škod vyžaduje obrovské prostředky.
- **Nižší zemědělská produkce a horší dostupnost vody pro obyvatelstvo:** postupný nárůst globální průměrné teploty a změny v rozložení srážek mají negativní dopad na zemědělskou produkci a ve světě snižují dostupnost vody pro stovky miliónů lidí.
- **Zdravotní rizika a nižší produktivita práce:** vyšší teploty například během vln veder ohrožují lidské zdraví a mohou snižovat i produktivitu práce, což má také své ekonomické důsledky.

V některých částech světa může teplejší klima dočasně přinést i výhody (například se sníží náklady na vytápění nebo bude možné pěstovat některé plodiny v nových oblastech), nicméně z dlouhodobého hlediska bude rostoucí oteplení znamenat čisté ztráty i v těchto regionech.

Škody a dopady na ekonomiku se modelují a vyjadřují v poměru ke světovému HDP (nebo HDP určitého regionu). Přitom se zpravidla srovnává předpokládaný vývoj HDP, jaký by byl v hypotetickém světě bez klimatické změny a jejích dopadů, a vývoj HDP ve světě, který směřuje k určité hladině oteplení.

Statistické modely, které odhadují budoucí škody na základě srovnání s historickou variabilitou počasí, ukazují následující rozdíl v dopadu na světové HDP:¹⁸

- **oteplení do 2 °C** – světové HDP v roce 2100 zhruba **o 10 % nižší** než ve světě bez klimatické změny
- **oteplení o 3 °C** – světové HDP v roce 2100 přibližně **o 20–30 % nižší** než ve světě bez klimatické změny

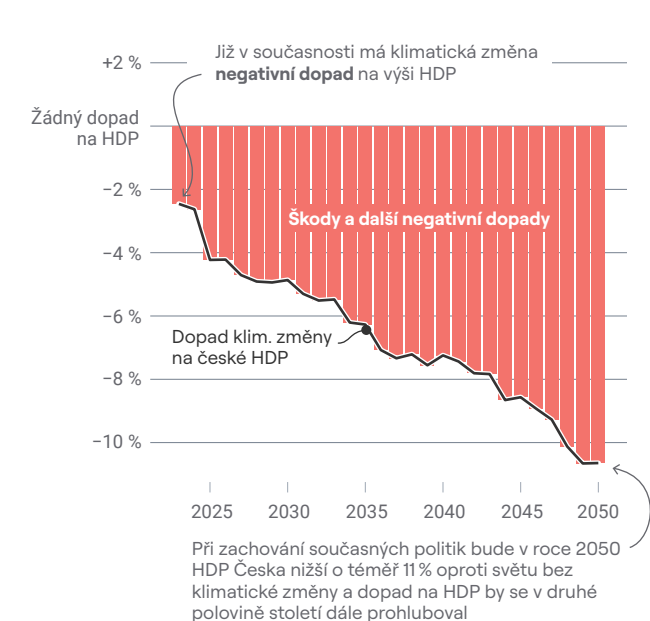
Naproti tomu investice, které by zajistily udržení oteplení pod hranicí 2 °C, se odhadují v řádu 1–2 % světového HDP. **Ve srovnání s náklady spojenými s dopady klimatické změny je tedy dekarbonizace výrazně levnější.**¹⁹

Srovnání dvou scénářů pro Česko

Studie Mezinárodního měnového fondu ukazuje dopady různých scénářů vývoje klimatické změny na HDP jednotlivých zemí, včetně Česka.²⁰ Grafy níže ukazují predikci vývoje českého HDP pro scénář oteplení o 3 °C a scénář udržení teplot do 1,7 °C do roku 2100 (ve srovnání s hypotetickým světem bez klimatické změny).

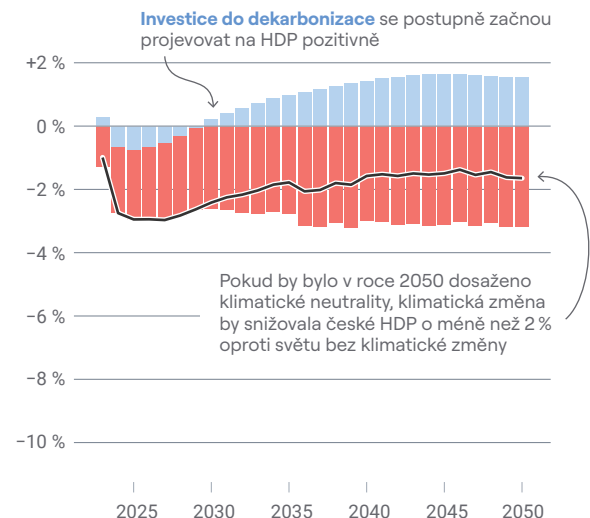
Pokračování současných politik

Ve světě, který by pokračoval podle současných politik, a jehož transformaci by ovlivňoval pouze trh, by globální oteplení v roce 2100 dosáhlo okolo 3 °C. Pro Česko, které se v důsledku své vnitrozemské polohy otepluje zhruba dvakrát rychleji než světový průměr, by to znamenalo oteplení o cca 6 °C. V takovém scénáři by podle studie MMF **škody a další negativní dopady snížily české HDP v horizontu roku 2050 zhruba o 10 %** v porovnání s hypotetickým světem bez klimatické změny (a dopad na HDP by se v druhé polovině století dále prohluboval).



Dosažení klimatické neutrality

Ve scénáři, kde svět dosahuje klimatické neutrality v roce 2050 a oteplení se udrží pod hranicí 1,7 °C (tedy asi 3,5 °C pro Česko) se **škody a negativní dopady** klimatické změny projeví na českém HDP výrazně méně: snížení je okolo 3 %. Zároveň takový scénář vyžaduje počáteční **investice do dekarbonizačních opatření** – ty se však podle modelování MMF později začnou projevovat na HDP pozitivně. V součtu tak scénář klimatické neutrality povede k poklesu HDP o 2 % v porovnání se světem bez klimatické změny.



Zdroj dat: International Monetary Fund, Climate Change Indicators Dashboard: Potential National Income Loss From Climate Risks (Model REMIND-MAGPIE)

Křivka učení a zlevňování nízkoe emisních technologií

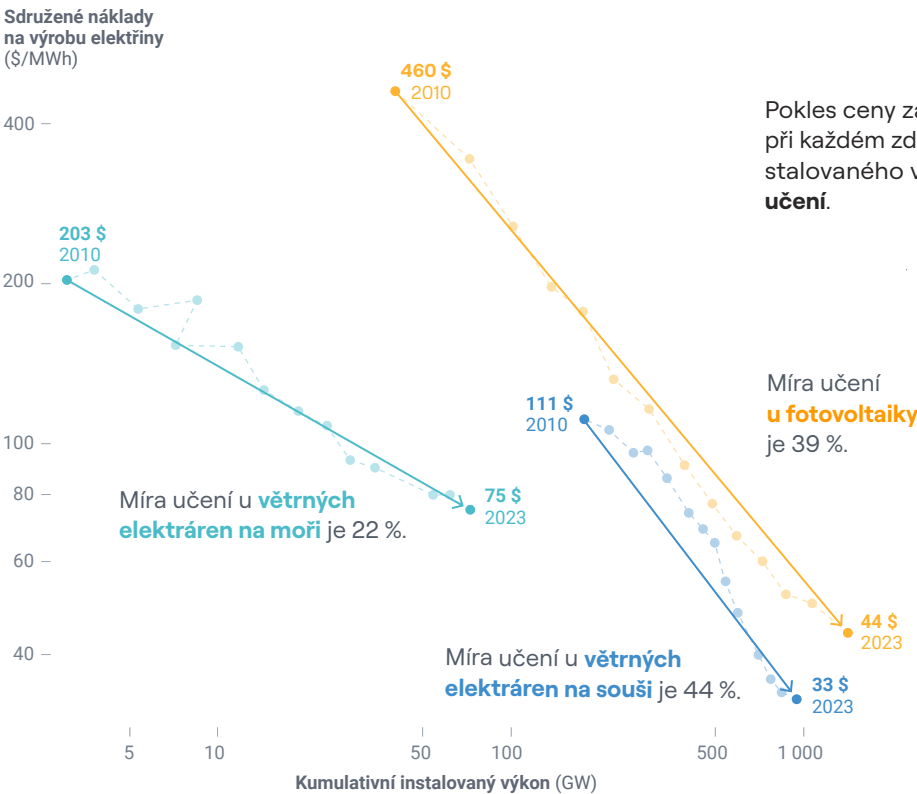
U řady technologií klíčových pro dekarbonizaci, jako jsou solární panely, větrné elektrárny či baterie, je zřetelně vidět tzv. křivka učení a dlouhodobé snižování ceny. To značně usnadňuje celosvětový přechod k nízkoe misní energii a ukazuje na důležitost další podpory těchto technologií.

Jak se v letech 2010–2023 vyvíjely sdružené náklady na výrobu elektřiny (LCOE) u solárních a větrných elektráren ve světě s nárůstem jejich instalovaného výkonu:

$$LCOE = \frac{\text{Náklady na výstavbu} + \text{Provoz elektrárny (\$)}}{\text{Množství energie vyrobené za dobu provozu elektrárny (kWh)}}$$

KŘIVKA UČENÍ

Křivka učení (learning curve) popisuje vztah mezi kumulativním instalovaným výkonem technologie a náklady na výrobu jednotky elektřiny.



Pokles ceny za jednotku vyrobené elektřiny při každém zdvojnásobení kumulativního instalovaného výkonu se označuje jako **míra učení**.

Míra učení u fotovoltaiky je 39 %.

Míra učení u větrných elektráren na moři je 22 %.

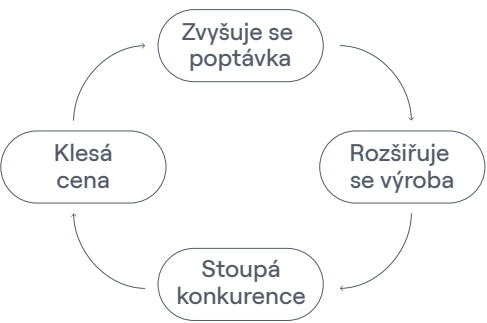
Míra učení u větrných elektráren na souši je 44 %.

Obě osy grafu jsou v logaritmické stupnici. Výsledná křivka tak ukazuje, že exponenciální nárůst instalovaného výkonu elektráren vede k exponenciálnímu snížení ceny elektřiny.

Zdroj dat: IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2023

Proč výroba energie ze slunce a větru zlevňuje

Zatímco v roce 1975 stály solární panely na 1 W výkonu přes 130 amerických dolarů, v roce 2023 to už bylo jen 0,31 \$ (tj. 31 centů). Za necelých padesát let tedy cena klesla o 99,7 %.²¹ Při bližším pohledu na graf vlevo je vidět, jak k tomu došlo: nízkoe misní technologie sledují křivku učení – s rostoucím objemem výroby vstupují do cyklu posilujících se zpětných vazeb:²²



Za poklesem nákladů na výrobu solární a větrné elektřiny stojí **postupné učení a řada konkrétních posunů v celém výrobním řetězci**, např. technologický pokrok zvyšující účinnost solárních panelů (větrných turbín či baterií), rychlejší a efektivnější výrobní procesy, větší továrny, škálování výroby a úspory z rozsahu, konkurence na trhu, která dále snižuje cenu, a další změny. Důležitou roli hraje též státní podpora, zejména na začátku – bez ní by řada technologií nebyla konkurenceschopných.

Výhody dalšího zlevňování

Pokud se technologie ocitne na dlouhodobé křivce učení, nejspíš bude (i přes krátkodobé výkyvy) i nadále zlevňovat. Podle některých ekonomických scénářů tak **dekarbonizace energetiky povede k dalšímu zlevňování klíčových nízkoe misních technologií** (solárních panelů, větrných turbín a baterií) a tím i ke snižování nákladů na transformaci energetického systému. To zároveň tyto technologie zpřístupní i zemím, které si je do té doby nemohly dovolit. Další zlevňování spojené s křivkou učení tak má velký význam pro celý svět.

Proč výroba energie z uhlí a jádra nezlevňuje

Průměrná účinnost stávajících **uhelných elektráren** je kolem 35 %, nejmodernější technologie se přibližují hranici 50 %, nicméně prostor pro další významný posun už zde není. Zároveň největší část nákladů na výrobu elektřiny z uhlí tvoří emisní povolenky a tento podíl se bude s rostoucí cenou povolenky dále zvyšovat.

Náklady na výstavbu **jaderných elektráren** v posledních desetiletích neklesaly, ale naopak rostly. Je to dáno jednak zpřísněním bezpečnostních předpisů, jednak poklesem výstavby, kvůli kterému se snížilo množství zkušeností s touto technologií, a tedy ubylo i dodavatelů a konkurence. Navíc výstavba těchto obřích elektráren probíhá vždy až přímo

v dané lokalitě a s ohledem na místní podmínky – a nemůže tedy čerpat z výhod, jež přináší opakovaná a standardizovaná výroba v továrně, jako je tomu např. u obnovitelných zdrojů.

Sociální aspekty dekarbonizace

Dekarbonizace může pro domácnosti i podniky v Česku znamenat velké změny za relativně krátký čas. Někoho se dotkne více, někoho méně – záleží například na ekonomické situaci nebo na tom, kde člověk žije a pracuje, specifickým problémům čelí uhelné regiony. Podpora domácností i podniků by měla brát tyto rozdíly v potaz a být dobře zacílena, zejména v případě těch nejzranitelnějších.

Ekonomická zajištěnost a zranitelnost domácností

Domácnosti či malé podniky mohou investovat do zateplení domu nebo výměny zdroje energie jen tehdy, když to pro ně bude dostupné. Tuto dostupnost může zvýšit nejen dotační, úvěrová a poradenská podpora, ale také širší systémová opatření, jako je větší role státu a obcí v renovaci fondu budov, v nové výstavbě nebo v komunitní energetice. Dnes se Česko potýká s nízkou kupní silou a finanční rezervou domácností – pětina domácností si například nemůže dovolit nečekaný výdaj ve výši 14 tisíc korun.²³ Mnoha domácností se také týká **energetická** nebo **dopravní** chudoba.

S ekonomickou zajištěností souvisí také **vlastnictví bydlení**. Pokud je domácnost ve vlastním domě či bytě, má v porovnání s bydlením v nájmu větší míru kontroly nad jeho renovací, která může vést ke značným energetickým úsporám (i když tento fakt ještě neznamená, že domácnost bude na tuto renovaci mít dostatek prostředků).²⁴ V Česku si bydlení pronajímá jen asi 20 % obyvatel,²⁵ nicméně u obyvatel pod hranicí příjmové chudoby nebo u mladších lidí žijících ve městech je podíl nájemního bydlení znatelně vyšší: okolo 50 %.²⁶

Kromě ekonomické zajištěnosti ovlivňuje dopady (a možnosti) transformace i **genderový nebo generační rozměr**. Například energetickou chudobou jsou významně ohroženy ženy samoživitelky nebo seniorky žijící o samotě. Populace v Česku navíc stárne, což může do budoucna zvyšovat poptávku po sociálních službách, možnostech dopravit se k lékaři apod.

Energetická chudoba

Jde o stav, kdy domácnosti nemají dostatek prostředků na zajištění svých energetických potřeb – ať už v důsledku vysokých cen energie, nízkého příjmu nebo energeticky náročného bydlení. V Česku se týká asi 1,3 milionu obyvatel.²⁷

Dopravní chudoba

Jde o situace, kdy lidé při cestách do práce, školy, k lékaři nebo rodině narážejí na problémy s dostupností – doprava se stává relativně drahou (ekonomická nedostupnost) a chybí potřebná dopravní infrastruktura (fyzická nedostupnost).²⁸

Rozdíly mezi městy a venkovem

26 % obyvatel žije v Česku na venkově a 74 % ve městech.²⁹

Z hlediska dekarbonizace se situace a možnosti lidí ve městech a na venkově dost liší. **Na venkově** například často chybí energetická a dopravní infrastruktura, která by umožnila zvolit nízkoemisní alternativu – třeba místo automobilu cestovat veřejnou dopravou. Nejsou zde také možnosti dálkového vytápění, které převažuje ve městech. **Ve městech** zase v porovnání s venkovem mnohdy bývá menší prostor například pro rozvoj decentralizovaných obnovitelných zdrojů energie, jako jsou solární panely, tepelná čerpadla nebo agrovoltaika.³⁰

Výzvy pro uhelné regiony

V Česku jde především o Ústecký, Karlovarský a Moravskoslezský kraj. Ačkoli je v současnosti v těžebním průmyslu zaměstnáno 0,4 % všech pracujících, změny spojené s dekarbonizací se dotýkají i navázaných sektorů, jako je výroba elektřiny a tepla (přibližně 1 % pracujících) a obecněji i zpracovatelského průmyslu (25% podíl zaměstnaných).³²

Po útlumu těžby bude v uhelných regionech klíčová **diverzifikace ekonomiky** – aby nebyla tolik závislá na jednom odvětví jako doposud. S tím souvisí potřeba investovat do infrastruktury, inovací a technologií, které podpoří **vznik nových pracovních míst**, stejně jako rekvalifikace a vznik nových vzdělávacích oborů (např. v sektorech provozu obnovitelných zdrojů energie, renovace budov nebo údržby nízkoemisních technologií včetně elektromobilů).

Nedílnou součástí úspěšné transformace uhelných regionů je též podpora lokální ekonomiky a služeb (malých podniků, obchodů, zdravotní péče apod.), aby lidé v regionu zůstali a neodstěhovali se pryč.³³

Komunikace a předvídatelnost změn

Kromě dobře nastavené podpory pro různé skupiny obyvatel je důležité i to, aby lidé rozuměli tomu, proč se dekarbonizace děje, jaké benefity může přinést a na co je naopak dobré se připravit. V průběhu celé transformace je tedy zásadní i **komunikace**: jednak **ze strany státu**, který na celonárodní, krajské i komunální úrovni může konzistentně představovat svoje plány transformace, a jednak **ze strany občanů a občanek** samotných – pokud mají možnost přijít s vlastními návrhy nebo perspektivou nad rámec účasti ve volbách. Mohou se například podílet na rozhodování o výstavbě místních zdrojů obnovitelné energie nebo o participativních rozpočtech obcí. V některých zemích či obcích se k vybraným otázkám konají i občanská shromáždění, jejichž cílem je získat užitečné podněty od reprezentativního vzorku občanů.³¹

Poznámky ke kapitole

1 Zkratka pro *Environmental, Social and Governance*. Jde o rámec pro hodnocení firem podle jejich vlivu na životní prostředí, společnost a způsob řízení. Tento rámec slouží investorům a dalším stakeholderům k posouzení udržitelnosti a společenské odpovědnosti podnikání. To, jak si firma v daných oblastech stojí, může ovlivnit např. i financová-ní úvěrů.

2 Podrobný popis výkonnostních norem a doporučení pro jejich zavádě-ní zpracoval energetický expert Hal Harvey.

→ Harvey, H., Orvis, R. a Rissman, J. (2018). *Designing Climate Solu-tions: A Policy Guide for Low-Carbon Energy*. Island Press.

→ Energy Innovation. (2022). *Energy Policy Solutions: Performance Standards*. [Dostupné online]

3 Podobně např. v Rakousku výnosy ze zpoplatnění emisí financují tzv. Klimabonus, který část vybraných prostředků vrací zpět občanům a občankám a tím alespoň částečně kompenzuje navýšení cen v dů-sledku zdražení paliv.

4 European Commission. (2025). *Carbon Border Adjustment Mechanism*. [Dostupné online]

5 Tento princip se označuje spojením *cap-and-trade*: jde o kombinaci stropu (*cap*) pro celkové emise, tedy počtu povolenek pro daný rok, a volného obchodování (*trade*) s povolenkami mezi jednotlivými emi-tenty skleníkových plynů.

6 Stav k červenci 2025 podle World Bank. *State and Trends of Carbon Pricing Dashboard*. [Dostupné online]

7 V Evropské unii funguje obchodování s emisními povolenkami (ETS 1) už od roku 2005 – tehdy šlo o první systém takového rozsahu na světě. V současnosti ETS 1 pokrývá emisně nejintenzivnější sektory – energe-tiku, průmysl, letectví a námořní dopravu (asi 40 % unijních emisí), při-čemž emise v energetice a průmyslu klesly v letech 2005–2023 o 47 %. Od roku 2027 by se měl systém rozšířit (ETS 2) a emisním povolenkám by měly podléhat také emise ze spalování paliv v silniční dopravě, budovách (při lokálním vytápění, ohřevu vody nebo vaření) a v menších energetických a průmyslových zařízeních. Emisní povolenky pak budou pokrývat cca 80 % emisí EU.

→ European Commission. (2025). *About the EU ETS*. [Dostupné online]

8 Viz poznámku číslo 6

9 Agora Energiewende. (2025). *What role does renewable energy play in Germany's power mix*. [Dostupné online]

10 Jennings, T., Tipper, H. A., Daglish, J., Grubb, M. a Drummond, P. (2020). *Policy, innovation and cost reduction in UK offshore wind*. UCL's Bartlett School of Energy, Environment and Resources: Carbon Trust. [Dostupné online]

11 Data jsou průměrem za období let 2018–2024, přičemž platby za ropu a zemní plyn se v jednotlivých letech pohybovaly od 74 mld. Kč v pandemickém roce 2020 po 344 mld. Kč v roce 2022, kdy vrcholila energetická krize.

→ Český statistický úřad. *Pohyb zboží přes hranice*. [Dostupné online]

12 Odhady dodatečných nákladů (tzv. *green premium*) na výrobu nízkoemisního cementu vychází z článku Ritchie, H. (2024). *How to decarbonise the world's cement*. Sustainability by numbers. [Dostupné online]. Nově vyvíjené technologie (např. dle Leilac. (2023). *Cement & Lime Decarbonisation Solution*. [Dostupné online]) mohou přinést další snížení nákladů.

13 Ritchie, H. (2024). *Could low-carbon cement and steel be cheaper than we think?* Sustainability by numbers. [Dostupné online]

14 Anglicky *abatement costs* nebo *levelized cost of carbon abatement*.

→ World Bank. (2023). *Climate Explainer: Abatement Costs and Decarbonization*. World Bank. [Dostupné online]

→ Friedmann, S., Fan, Z., Byrum, Z., Ochu, E., Bhardwaj, A. a Sheerazi, H. (2020). *Levelized cost of carbon abatement: an improved cost-assessment methodology*. Columbia University: Center on Global Energy Policy. [Dostupné online]

15 Náklady pro jednotlivé cesty dekarbonizace průmyslových výro-b kvantifikuje například tabulka na s. 1197 v Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to AR6*. [Dostupné online].

16 Modelováním scénářů dekarbonizace a jejich nákladů ve srovnání s pokračováním současného vývoje se zabývají analytické a poraden-ské společnosti jako BloombergNEF, IEA nebo NGFS, tradiční konzul-tační firmy jako BCG, ale také energetické a těžařské společnosti jako Shell nebo BP. Pojmenování scénářů se liší (například BloombergNEF používá pro scénář pokračování současných politik název Economic Transition Scenario, IEA pro scénář s podobnými předpoklady používá název Stated Policy Scenario). Liší se také vstupní parametry modelo-vání – v některých scénářích proto například vycházejí technologie pro zachytávání a ukládání uhlíku a vodík jako významná řešení, v jiných modelech mají tyto technologie v celkovém snižování emisí význam menší. Ve výsledcích modelování se ale zmíněné organizace shodují na tom, že při pokračování současných politik budou z ekonomických důvodů emise skleníkových plynů stagnovat nebo budou mírně klesat. V případě scénářů klimatické neutrality vychází, že současné technolo-gie umožňují dekarbonizace dosáhnout v hrubém odhadu dodatečných nákladů okolo 1–2 % HDP ročně.

→ BloombergNEF. (2025). *New Energy Outlook 2025*. [Dostupné online]

→ International Energy Agency. (2021). *World Energy Outlook 2021*. [Dostupné online]

→ Network of Central Banks and Supervisors for Greening the Finan-cial System. *NGFS Scenarios Portal*. [Dostupné online]

→ BCG. (2025). *Why Investing in Climate Action Makes Good Econo-mic Sense*. [Dostupné online]

→ Shell. (2023). *The Energy Security Scenarios*. [Dostupné online]

→ BP. (2024). *bp Energy Outlook 2024 Edition*. [Dostupné online].

17 BloombergNEF. (2025). *New Energy Outlook 2025*. [Dostupné online]

18 Odhady velikosti ekonomických dopadů globálního oteplování vychá-zejí z meta-analýzy na str. 2495 v Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vu-lnerability. Contribution of Working Group II to AR6*. [Dostupné online].

19 Viz studie uvedené v poznámce číslo 16

20 International Monetary Fund. (2022). *Climate Change Indicators Dashboard. Potential National Income Loss From Climate Risks (Model REMIND-MAGPIE)*. [Dostupné online]

21 Ritchie, H., Rosado, P. a Roser, M. (2023). *Energy: Data Page: Solar photovoltaic module price. Data adapted from IRENA, Nemet, Farmer and Lafond*. Our World in Data. [Dostupné online]

22 Křivku učení ve spojení se zdroji energie podrobně popisují například:

→ Roser, M. (2020). *Why did renewables become so cheap so fast?* Our World in Data. [Dostupné online]

→ Harvey, H. a Gillis, J. (2022). *The Big Fix: Seven Practical Steps to Save Our Planet*. Simon & Schuster.

23 Český statistický úřad. (2023). *Příjmy a životní podmínky domácností – 2023*. [Dostupné online]

24 Pronajímatelům naopak často chybí motivace investovat do reno-vací – náklady na energie totiž nesou nájemníci. Ti pak budou těžít i z potenciálních úspor. Pokud už se vlastník pro renovaci rozhodne, může to vést ke zvyšování nájemného, což především pro nízkopříjmo-vé nájemníky znamená vyšší riziko.

25 Český statistický úřad. *Sčítání lidu, domů a bytu 2021: Právní důvod užívání bytu*. [Dostupné online]

26 Dle dat Eurostatu z roku 2023 žije v Česku v nájmu 49 % obyvatel pod hranicí příjmové chudoby. Co se týče nájemního bydlení u mladší generace, ve městech s více než 50 tisíci obyvateli bydlí v nájmu dvě třetiny domácností s osobou v čele do 30 let a 40 % domácností, kdy je tato osoba ve věku 30–40 let.

→ Eurostat. *Distribution of population by tenure status, type of household and income group (ilc_lvho02)*. European Commission. [Dostupné online]

→ Ministerstvo pro místní rozvoj. (2024). *Nájemní bydlení v Česku*. [Dostupné online]

27 Klusáček, J. a Kalenda, S. (2023). *Energetická chudoba v roce 2023*. Ministerstvo práce a sociálních věcí. [Dostupné online]

28 STEM. (2024). *Dopravní chudoba v České republice – situační analýza*. [Dostupné online]

29 Dle metodiky Českého statistického úřadu zahrnuje venkov obce s méně než 3 000 obyvateli a s hustotou zalidnění nižší než 150 obyva-tel na km².

Český statistický úřad. (2009). *Postavení venkova v krajích ČR*. [Dostupné online]

30 Agrovoltaika je technologie, která umožňuje současně pěstování plodin nebo chov zvířat a výrobu solární energie na stejném pozemku, přičemž instalace panelů může chránit rostliny před extrémním po-časím a snižovat odpařování, zatímco zároveň produkuje nízkoemisní elektřinu.

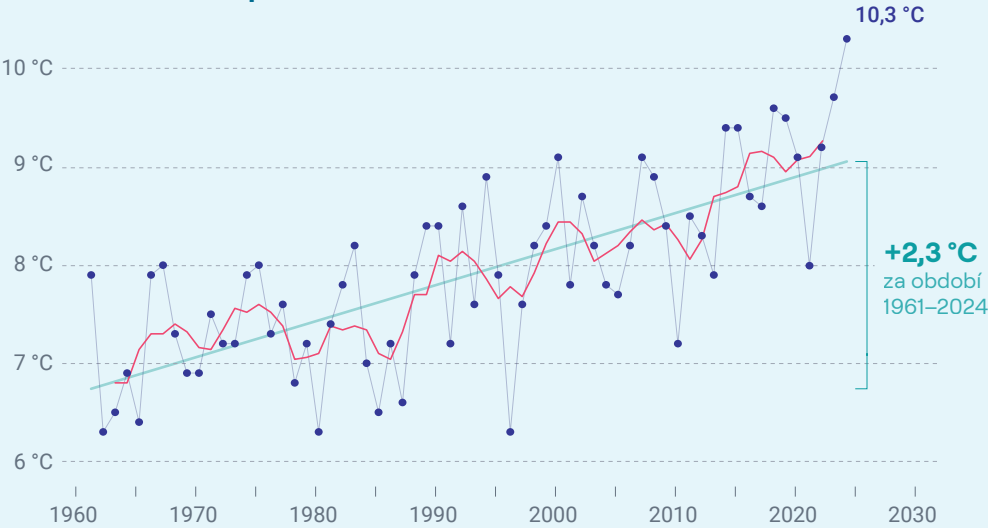
31 Např. v Polsku proběhlo v roce 2022 občanské shromáždění, jehož cílem bylo řešit vysoké ceny energií.

Narada obywatelska o kosztach energii. (2023). *Conclusion of the Nati-onwide citizens' assembly on energy costs*. [Dostupné online]

32 Český statistický úřad. (2024). *Statistická ročenka České republiky – 2024. Trh práce*. [Dostupné online]

33 Kromě toho bude klíčové rozvíjet také schopnost adaptace na změny – nejen ty spojené s dekarbonizací, ale s i digitalizací, nástupem umělé inteligence, stárnutím populace apod. To se ostatně týká všech regio-nů, nejen těch uhelných.

Průměrná roční teplota v ČR



PŘÍLOHA:

Klimatická změna

Lidstvo mění složení atmosféry

Spalování fosilních paliv, odlesňování a další lidské činnosti mění složení atmosféry a zvyšují koncentrace skleníkových plynů,¹ které jsou nyní vyšší než kdykoli v historii naší civilizace.² Tyto plyny zesilují skleníkový efekt a způsobují globální oteplování.

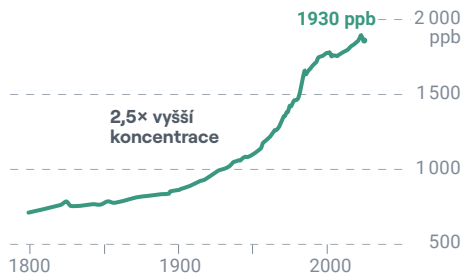
Oxid uhličitý může za 70 % pozorovaného oteplení

Oxid uhličitý (CO₂) vzniká hlavně při spalování fosilních paliv a odlesňování. V současné době je jeho koncentrace v atmosféře mnohem vyšší než v posledních 800 000 letech³ a zvýšená bude ještě tisíce let poté, co lidstvo přestane spalovat fosilní paliva.



Metan způsobuje asi 25 % oteplení

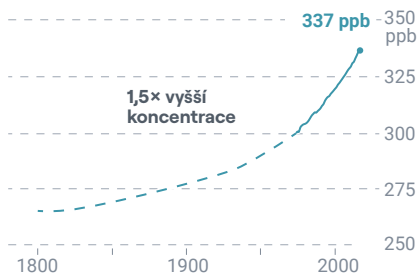
Metan (CH₄) vzniká např. v žaludcích dobytka a při pěstování rýže nebo uniká při těžbě fosilních paliv. V zachytávání tepelného záření je zhruba 27× silnější než CO₂, ale v atmosféře se postupně rozpadá – v průměru zde molekula metanu zůstává jen asi 12 let.



Zdroj dat: Global Monitoring Laboratory, Trends in CH₄

Oxid dusný způsobuje asi 5 % oteplení

Oxid dusný (N₂O) vzniká zejména při používání dusíkatých hnojiv v intenzivním zemědělství. Jeho koncentrace v atmosféře je velmi nízká, v zachytávání tepelného záření je ale 275× silnější než CO₂ a setrvává v atmosféře po staletí.



Global Monitoring Laboratory, Trends in N₂O

Relativní síla skleníkových plynů je zde udávána jako GWP100, podíl skleníkových plynů na pozorovaném oteplení je vypočítán metodou GWP*, která lépe zohledňuje doby života plynů v atmosféře.⁴ Průchod infračerveného záření atmosférou ovlivňuje také vodní pára, ta se ale považuje za zpětnou vazbu klimatického systému.⁵

Co je podstatou skleníkového efektu

Teplota planety je dána rovnováhou mezi energií, která přichází od Slunce a planetu ohřívá, a dlouhovlnným (zjednodušeně tepelným) zářením Země do kosmického prostoru, díky němuž se planeta ochlazuje.⁶

Klíčovou roli v této rovnováze hraje množství skleníkových plynů v atmosféře (uvádí se v jednotkách ppm či ppb), jež tepelné záření Země pohlcují a zpomalují tak jeho únik do vesmíru – v důsledku toho se planeta ochlazuje pomaleji. **Nížší koncentrace skleníkových plynů** v atmosféře tak **vedou k nižší rovnovážné teplotě planety** (např. v dobách ledových), **vyšší koncentrace způsobují, že teplota planety je vyšší**.

Zřetelně jsou tyto změny vidět v paleoklimatických záznamech: zatímco během dob ledových se koncentrace CO₂ pohybovaly okolo 170 ppm a planeta byla v průměru

chladnější o zhruba 6–8 °C,⁷ v dobách meziledových byly tyto koncentrace okolo 280 ppm a teploty byly zhruba srovnatelné s teplotami v posledních tisíciletích. Současné koncentrace 430 ppm vedly k oteplení zhruba 1,3 °C oproti teplotám v posledním tisíciletí.

Oteplování způsobené skleníkovými plyny je částečně kompenzováno aerosoly, zejména oxidy síry, které sluneční záření odráží a zemi tak částečně odstíňují.⁸ Postupné odsíření uhelných elektráren a lodní dopravy však vede k snížení množství aerosolů a tedy i k zeslabení tohoto efektu.

Přírodní faktory jako erupce sopek či změny ve sluneční aktivitě mají na současné oteplování minimální vliv (celkově je to méně než cca 0,1 °C).⁹

Čím vyšší koncentrace, tím vyšší teplota planety

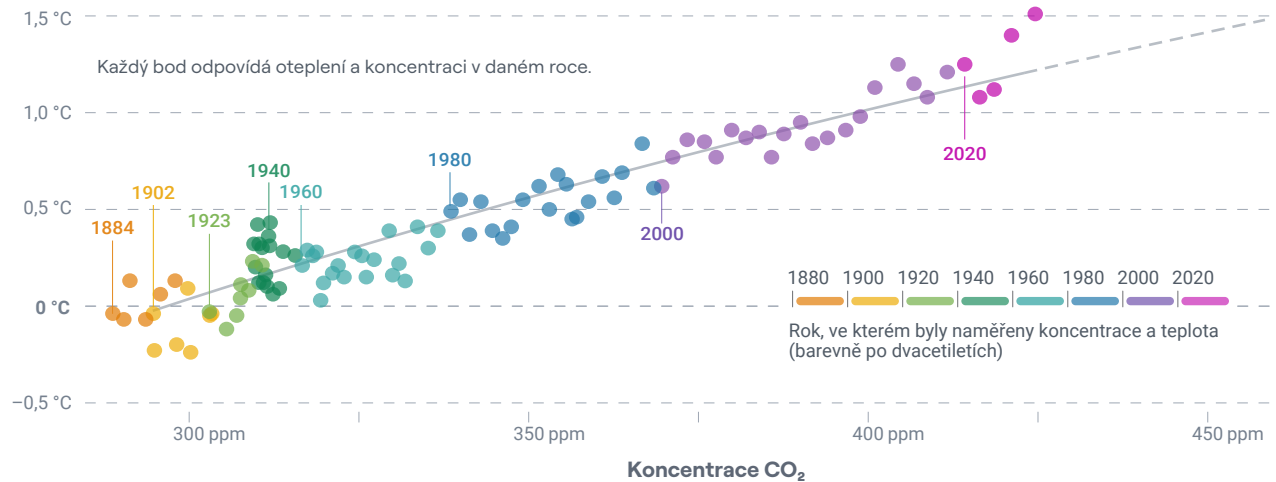
Dominantní vliv na zesilování skleníkového efektu mají rostoucí koncentrace CO₂ – historická pozorování i modelování planetárního klimatu ukazují, že čím vyšší je koncentrace CO₂, tím vyšší je i teplota planety. Přibližně platí, že zvýšení koncentrace o 10 ppm odpovídá zvýšení teploty planety o 0,1 °C.

Tuto přímou úměrnost lze vyjádřit i množstvím emisí CO₂ – každých 1 000 gigatun vypuštěných do atmosféry způsobí globální oteplení zhruba o 0,45 °C.¹⁰

Z těchto vztahů mezi emisemi CO₂ a teplotou planety také plyne, že pro zastavení globálního oteplování je nutné dosáhnout nulových emisí CO₂.

SOUVISLOST KONCENTRACE CO₂ A GLOBÁLNÍHO OTEPLOVÁNÍ

Oteplení oproti období 1850–1900



Zdroj dat: NOAA a NASA, GISS Surface Temperature Analysis

Pozorované dopady klimatické změny

Naše planeta je dnes pozorována s bezprecedentní přesností na tisícovkách meteostanic i družic ve vesmíru. Díky těmto měřením vidíme rozsáhlé změny v jejím klimatickém systému, které ovlivňují životy miliard lidí po celém světě.¹¹

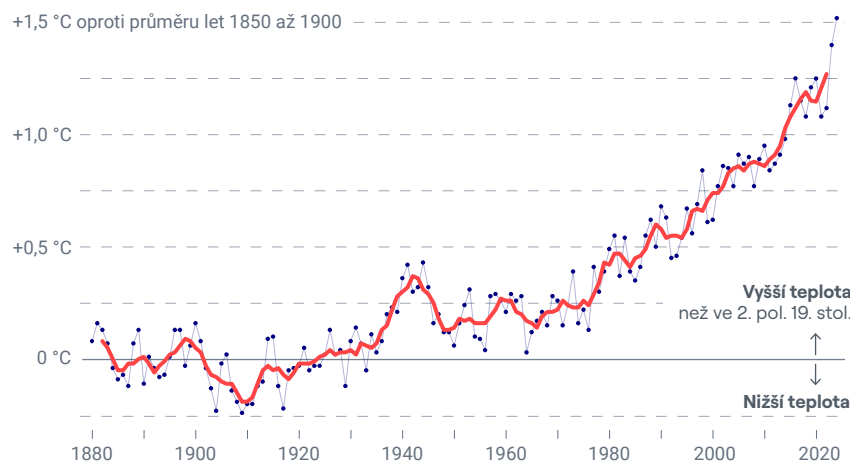
Zemská atmosféra je o 1,3 °C teplejší

Zemská atmosféra je dnes o 1,3 °C¹² teplejší než v době před průmyslovou revolucí, přičemž **současné tempo oteplování je 0,2 °C za dekádu** (kontinentální oblasti na severní polokouli se oteplují 2–3× rychleji, u oceánů je oteplování pomalejší).¹³

Tento nárůst globálních teplot má přímé fyzikální důsledky pro koloběh vody v přírodě. Teplejší atmosféra vede k rychlejšímu odparu, což zesiluje sucha v oblastech, kde neprší. Zároveň ale teplejší atmosféra dokáže udržet více vlhkosti, což způsobuje intenzivnější srážky. Ty pak často vedou v jiných regionech k záplavám.

VÝVOJ SVĚTOVÉ TEPLOTNÍ ANOMÁLIE

● Světová teplotní anomálie pro daný rok — Klouzavý průměr přes 5 let



Zdroj dat: NASA, GISS Surface Temperature Analysis



Tání ledovců

Růst globálních teplot se projevuje **táním ledovců na moři i na pevnině**. Rozloha mořského zámru v Arktidě se za posledních 30 let snížila o 40 %.¹⁴ U mořského ledu v okolí Antarktidy zatím není pozorován zřetelný trend.

Grónský ledovcový příkrov ztrácí v průměru 270 miliard tun ledu ročně a významně tak přispívá k celosvětovému vzestupu hladiny oceánů.¹⁵ **Horské ledovce** v Alpách, Himálaji a dalších světových pohořích zřetelně **ustupují**, což ovlivňuje dostupnost vody v řekách, jež jsou z nich napájeny. V rozsáhlých oblastech v Kanadě a na Sibiři dochází k tání permafrostu.¹⁶



Změny v oceánech

Hladiny oceánů jsou o 20 cm výše než v roce 1900 a stoupají průměrně o 4 mm ročně.¹⁷ Tento vzestup je způsoben zejména tepelnou roztažností mořské vody (v důsledku její vyšší teploty) a táním pevninských ledovců. Ohrožuje především města a metropole na pobřeží a má tak dalekosáhlé důsledky pro život stovek milionů lidí.

Vyšší koncentrace CO₂ vedou též k **okyselení mořské vody**, což spolu s rostoucími teplotami vody způsobuje umírání korálových útesů a ovlivňuje mnoho dalších druhů mořských živočichů.

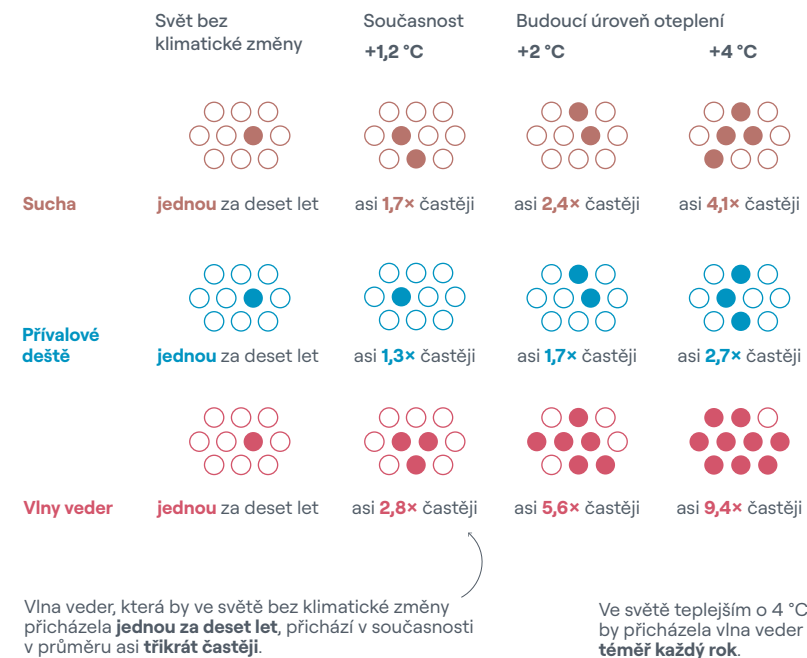
Přibývá extrémních projevů počasí

Globální oteplování zvyšuje četnost a intenzitu extrémních jevů, jako jsou vlny veder, povodně, období sucha nebo hurikány. Současná věda jim věnuje takzvané atribuční studie, v nichž posuzuje, jaký vliv na tyto události měla klimatická změna.²²

Např. čtyřicetistupňová vedra v Londýně (červenec 2022) či téměř padesátistupňová v Kanadě (červen 2021) by ve světě bez klimatické změny prakticky nemohla nastat. U jiných událostí, například u povodní ve Španělsku (říjen 2024) nebo v Německu (2021), lze říci, že v důsledku oteplení přicházejí nyní takovéto události několikrát častěji než v době před průmyslovou revolucí.

Modelování dynamiky počasí v teplejší atmosféře ukazuje, že **další oteplování povede k ještě častějším a intenzivnějším extrémním událostem** – a v té souvislosti také k výrazným nárůstům škod.

PROMĚNA FREKVENCÍ EXTRÉMNÍCH UDÁLOSTÍ PODLE ÚROVNĚ BUDOUCÍHO OTEPLENÍ



Vlna veder, která by ve světě bez klimatické změny přicházela **jednou za deset let**, přichází v současnosti v průměru asi **tříkrát častěji**.

Ve světě teplejším o 4 °C by přicházela vlna veder **téměř každý rok**.

Zdroj dat: IPCC, AR6 WGI

Příklady dopadů klimatické změny

Přibývající lesní požáry

Lesní požáry jsou kvůli klimatické změně častější a intenzivnější. Každoročně shoří na světě desítky milionů hektarů lesů, např. v Kanadě, na Sibiři, v Amazonii či ve Středomoří.¹⁸

Dražší pojištění nemovitostí

Častější extrémní události zvyšují ceny pojistného (např. v USA). V některých rizikových oblastech se domy stávají nepojistitelné.¹⁹

Rostoucí ceny potravin

Extrémní sucha a vlny veder ve Středomoří zdvojnásobily (v letech 2022–2024) ceny olivového oleje.²⁰ Podobně v poslední době rostou i ceny kávy, ovlivněné nepříznivými pěstitelskými podmínkami v klíčových oblastech. Extrémní události (jako rozsáhlé povodně v Pákistánu v roce 2022) vedou k obrovským výpadkům zemědělské produkce a vážně ohrožují potravinovou bezpečnost milionů lidí.

Ohrožení ekosystémů

Mořské vlny veder způsobují umírání korálových útesů a vedou k rozsáhlým úhynům mořské fauny.²¹ V některých oblastech navíc vysoké teploty vody podporují přemnožení toxických řas.

Nedostatek pitné vody

Klimatická změna v řadě oblastí zhoršuje problémy se zásobováním pitnou vodou. Kromě toho vzestup hladin oceánů vede též k zasolování zásobníků pitné vody na ostrovech a v pobřežních oblastech.

Predikce dalšího oteplování planety

Další vývoj bude záležet zejména na tom, jak rychle bude celosvětově dosaženo klimatické neutrality a jaké množství emisí CO₂ bude do té doby ještě vypuštěno.

Co je klimatická neutralita a uhlíkový rozpočet

Výzkumy ukazují, že oteplení planety je přímo úměrné celkovému množství CO₂ vypuštěnému do atmosféry (tzv. kumulativním emisím).²³ Každých 1000 gigatun emisí způsobí oteplení zhruba o 0,45 °C. Ukazují to i dosavadní emise – od roku 1850 vypustilo lidstvo do atmosféry přibližně 2 400 Gt CO₂ a současné oteplení je 1,3 °C.

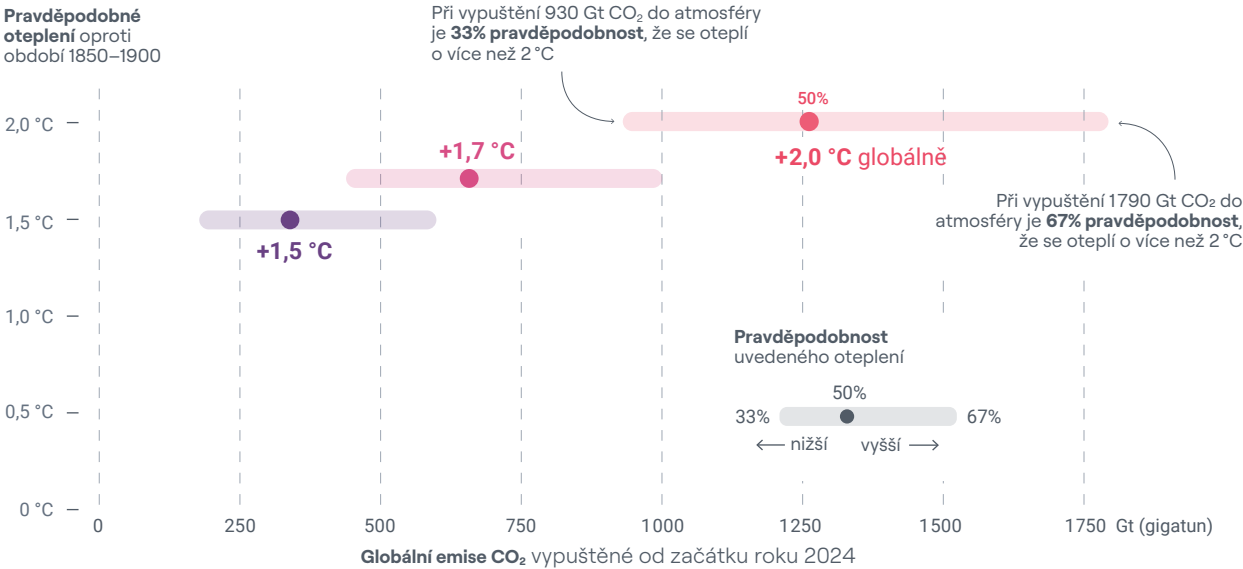
K zastavení globálního oteplování a stabilizaci globální teploty na určité hodnotě je proto nutné přestat přidávat CO₂ do atmosféry. Tedy především přestat spalovat fosilní paliva a zbývající emise skleníkových plynů kompenzovat zachytáváním a ukládáním uhlíku nebo jeho zvýšeným pohlcováním lesy a půdou. Tomuto stavu nulových emisí se říká **klimatická neutralita (net zero)**.

Celkové množství CO₂ vypuštěné od současnosti až do dosažení klimatické neutrality se označuje jako **uhlíkový rozpočet**. Jak si to představit?

Například pokud bychom chtěli mít 50% jistotu, že globální oteplení dlouhodobě nebude vyšší než 1,7 °C, může lidstvo od roku 2024 vypustit do atmosféry už pouze 650 GtCO₂. Pro méně ambiciózní cíl udržení oteplení pod hranicí 2 °C je uhlíkový rozpočet vyšší – zhruba 1250 GtCO₂. Protože celosvětové roční emise CO₂ jsou v současnosti okolo 42 gigatun, rozpočet pro udržení oteplení pod 1,7 °C by se současným tempem vyčerpal za 15 let a rozpočet pro hranici 2 °C za 30 let.

V případě, že bychom chtěli mít vyšší než 50% jistotu udržení oteplení pod danou hranicí, bude uhlíkový rozpočet ještě nižší.

ČÍM VÍCE EMISÍ CO₂ LIDSTVO VYPUSTÍ, TÍM VÍCE SE PLANETA OTEPLÍ



Zdroj dat: IPCC, AR6 WG1 a vlastní zpracování

Odhady oteplení do roku 2100

Zda nebo kdy bude dosaženo klimatické neutrality a kolik emisí skleníkových plynů bude do té doby ještě vypuštěno, **záleží především na úsilí států a firem** – jak se jim bude dařit naplňovat stanovené cíle a závazky. Dosažení klimatické neutrality si jako cíl dalo okolo 150 států světa a také řada velkých nadnárodních společností. Jen nemnoho z nich však zatím vypracovalo i realistický plán, jak tohoto cíle skutečně dosáhnout.

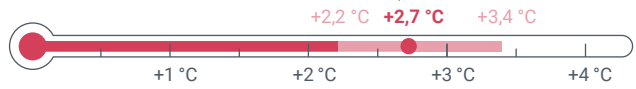
Analýzy řady institucí a firem se shodují na tom, že při současném nastavení zákonů a regulací a pokračujícím rozvoji současných technologií dnes směřuje **svět k oteplení okolo 2,7 °C**,²⁴ tedy podstatně většímu, než na jakém se státy dohodly při podpisu Pařížské dohody. Pro **Česko**, které se kvůli své vnitrozemské poloze otepluje přibližně dvakrát rychleji, by to znamenalo **oteplení téměř o 6 °C** oproti době před průmyslovou revolucí.

Stejně analýzy se ale také shodují na tom, že lidstvo má už dnes k dispozici technologie, díky nimž lze globální oteplení udržet **pod hranicí 2 °C**. Záležet tedy bude zejména na politické vůli – jak rychle se bude dařit transformace energetiky a dalších ekonomických sektorů.

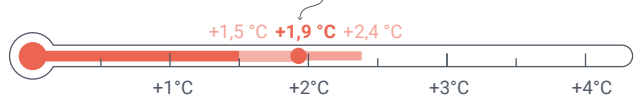


Současné nastavení politik

směřuje k oteplení cca **+2,7 °C**



Scénáře **klimatické neutrality** ukazují, že lze oteplení udržet **pod 2 °C**



Zdroj dat: Climate Action Tracker, The CAT Thermometer

Body zlomu a jejich dopady

Ekosystémy se změně klimatu dokáží přizpůsobit jen do určité míry. Přesáhne-li zátěž ekosystému způsobená touto změnou určitou hranici, dojde k jeho zániku (postupnému, nebo i rychlému). Tomuto kritickému momentu se říká **bod zlomu**.²⁵

Příkladem mohou být korálové útesy, které nejsou schopny přežít oteplení vyšší než 1,5 °C. U tropických lesů Amazonie se bod zlomu odhaduje při oteplení cca 3 °C a podobné je to u jehličnatých lesů Sibiře a Kanady.

Body zlomu mají ale i jiné velké systémy, například ledovce a ledovcové příkrovy. Při překročení určité hranice oteplení převáží proces tání nad zámrzem. Může ale trvat ještě desítky či stovky let, než ledovec zcela roztaje – záleží na

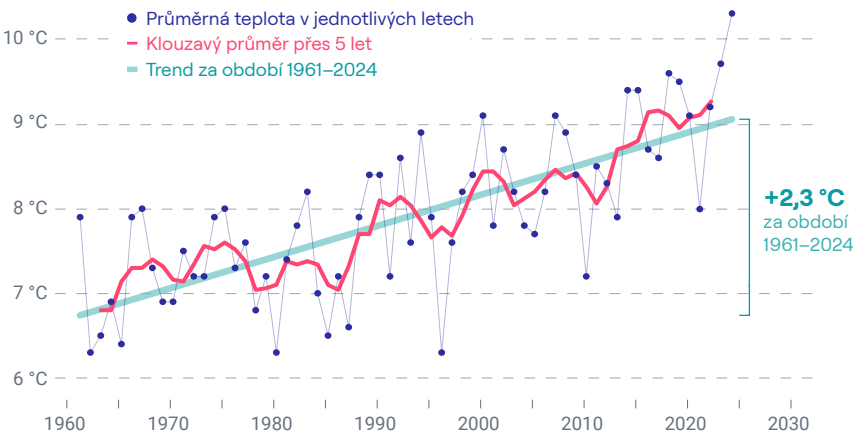
jeho velikosti a dalších podmínkách. Řada ledovců v Alpách už svůj bod zlomu překročila a postupně mizí. U velkých ledovcových příkrovů v Grónsku a Západní Antarktidě se body zlomu odhadují mezi 1,5–3 °C. Jejich úplné roztátí by zvedlo hladiny světových oceánů o desítky metrů.

Hrozba rozpadu velkých ekosystémů a roztátí ledovcových příkrovů je jedním z důvodů, proč se svět shoduje na tom, že oteplení je potřeba udržet nejlépe pod hranicí 1,5 °C a určitě pod 2 °C. Tuto shodu deklaruje Pařížská dohoda z roku 2015.

Pozorované změny a predikce vývoje v Česku

Jak ukazují data územních teplot, Česko se otepluje asi dvakrát rychleji, než je průměr pro celý svět. Je to dáno zejména jeho vnitrozemskou polohou. Toto oteplování má řadu dobře pozorovatelných projevů.

Od roku 1961 se Česko oteplilo o více než 2 °C



Zdroj dat: ČHMÚ, Historická data: Územní teploty

Pro lepší představu si změnu teploty můžeme přiblížit analogií s nadmořskou výškou. Běžně pozorujeme, že na horách je chladněji a v nížinách tepleji. Pokles teploty s výškou (tzv. teplotní gradient) je okolo 0,6 °C na každých 100 výškových metrů. Oteplení o 2 °C je tedy podobné, jako by se nadmořská výška určitého místa snížila o 300 metrů.

- Česko se otepluje rychlostí 0,35 °C za dekádu, tedy zhruba dvakrát rychleji, než je světový průměr.²⁶
- Tento trend se mírně liší v závislosti na ročním období: letní a zimní měsíce se oteplují rychleji než měsíce jarní a podzimní.²⁷
- **Projekce očekávají pokračování tohoto trendu.** Kolem roku 2050 budou v Česku běžné průměrné roční teploty 9–11 °C.

Častější extrémy tepla

Tropických dní (teplota nad 30 °C) v Česku přibývá.²⁸ Zatímco v 60. letech jich bývalo v průměru 4,5 ročně, v letech 2011–2020 jich bylo ročně už 13,6 a projekce pro poslední dekady 21. století očekávají mezi 20 a 40 tropickými dny ročně.

Méně chladných dní

Mrazových dní (teplota klesne pod 0 °C) v Česku ubývá.²⁹ Zatímco v 60. letech jich bývalo okolo 125 ročně, v letech 2011–2020 jich bylo ročně okolo 100. Projekce pro poslední dekady 21. století očekávají 50–70 mrazových dnů ročně.

Postupné oteplování má i v Česku zřetelné projevy

Srážky

Množství srážek na území Česka dlouhodobě nevykazuje významný rostoucí ani klesající trend.³⁰ V průměru zde spadne okolo 680 mm srážek, stejně jako na počátku minulého století.

Nicméně dlouhodobý růst teplot, zejména v letních měsících, způsobuje intenzivnější odpařování vody rostlinami (evapotranspiraci), což je významný faktor urychlující nástup sucha.

Zároveň ale teplejší atmosféra může přinášet více vlhkosti, což způsobuje intenzivnější srážky, při kterých hrozí povodně.

Sucho

Dlouhodobý pokles hladin spodních vod, který postihuje zhruba třetinu Česka,³¹ je způsoben především vyšším odparem a odtokem vody z krajiny.

V letech 2015–2020 zažilo Česko pravděpodobně nejsilnější epizodu sucha za posledních 2000 let,³² což mimo jiné přispělo i k rozsáhlé kůrovcové kalamitě. Takto dlouhá suchá období je zatím prakticky nemožné předvídat a nelze tedy jasněji říci, zda se může podobná situace v nejbližším století opakovat.

Předpovědi nicméně ukazují, že riziko nižších srážek a vyššího odparu, tedy podmínek pro rozvoj sucha, se bude s postupující klimatickou změnou zvyšovat – zejména v nížinách na jižní Moravě a ve středních a severních Čechách.

Sněhová pokrývka

Vyšší zimní teploty způsobují rychlejší tání sněhu a zároveň vedou k většímu podílu srážek ve formě deště. Počet dní se sněhovou pokrývkou výrazně klesá hlavně v nížinách.

Vzhledem k úbytku mrazových dní se očekává, že v nížinách bude sníh jen pár dní v roce a často bude rychle tát. Na horách sice podmínky pro sníh zůstanou, ale i tam bude sněhová sezóna kratší než dnes.

Menší množství sněhu zároveň souvisí se suchem – na jaře je méně vody. V půdě je pak častěji nedostatek vláhy a řeky mají nižší průtoky.

Povodně

Významné povodně zasáhly Česko v posledních třiceti letech několikrát (1997, 2002, 2006, 2013 a 2024). Pro tyto události byly charakteristické intenzivní několikadenní srážky nad určitou částí území, které se následně ve středních a nižších tocích řek projeví jako ničivé povodně.

Pro povodeň z roku 2024 byla zpracována také atribuční studie. Ta ukazuje, že podobné události přicházejí v současném klimatu zhruba dvakrát častěji než ve světě bez klimatické změny.³³

Škody způsobené povodní z roku 2024 se odhadují na 70 miliard Kč.³⁴

Poznámky ke kapitole

1 Spalování fosilních paliv přidává ročně do atmosféry cca 37 mld. tun CO₂, odlesňování okolo 4 mld. tun CO₂. Emise CO₂, CH₄ a N₂O pravidelně monitoruje Global Carbon Project. Fakt, že změna koncentrací CO₂ je důsledkem spalování fosilních paliv a nikoli jiných procesů, dokazuje jednak měřený pokles koncentrací O₂ a jednak izotopové stopy ¹³C / ¹²C.

→ Friedlingstein, P. et al. (2025). *Global Carbon Budget 2024*. Earth System Science Data, 17(3), 965–1039. [Dostupné online]

→ Lindsey, R. (2022). *How do we know the build-up of carbon dioxide in the atmosphere is caused by humans?* NOAA Climate.gov. [Dostupné online]

2 Atmosféra Země je tvořena hlavně dusíkem a kyslíkem, které ale neinteragují s dlouhodobným zářením a nepůsobí skleníkový efekt. Skleníkové plyny CO₂, CH₄ a N₂O mají sice v atmosféře nízké koncentrace, zato mají velký vliv na teplotu planety – bez nich by teploty na Zemi byly cca o 30 °C nižší.

Koncentrace skleníkových plynů se zpravidla udávají jako počet částic v milionu (*parts per million*, ppm) nebo počet částic v miliardě (*parts per billion*, ppb). Podle údajů z NOAA dosáhly koncentrace CO₂ v roce 2024 hodnoty 427 ppm (což odpovídá 0,0427 %) a v poslední dekádě rostou průměrně o 2,5 ppm ročně. Koncentrace CH₄ v roce 2024 byly 1930 ppb (což odpovídá 0,00019 %) a rostou průměrně o 10 ppb ročně.

Aktuální průběžná měření koncentrací CO₂ na Mauna Loa (Havaj) poskytuje Scripps Institution of Oceanography.

→ NASA. (2010). *Global Warming*. NASA Earth Observatory. [Dostupné online]

→ Lan, X., Tans, P. a Thoning, K. W. (2025). *Trends in globally-averaged CO₂ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements*. NOAA Global Monitoring Laboratory. [Dostupné online]

→ Scripps Institution of Oceanography. *The Keeling Curve*. Scripps CO₂ Program. UC San Diego. [Dostupné online]

3 Složení atmosféry v dávné historii se zjišťuje analýzou bublinek vzduchu z hlubokých vrtů v ledovcích Grónska či Antarktidy. Několik kilometrů pod povrchem současného ledovce je led starý až 800 000 let. V něm jsou zachyceny a zakonzervovány bublinky tehdejšího vzduchu. Jejich analýza pak umožňuje přesně zjistit koncentrace CO₂ a CH₄ z tehdejší atmosféry.

→ Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D. et al. (1999). *Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica*. Nature, 399(6735), 429–436. [Dostupné online]

→ Bereiter, B., Eggleson, S., Schmitt, J. et al. (2015). *Revision of the EPICA Dome C CO₂ Record from 800 to 600 Kyr before Present*. Geophysical Research Letters, 42(2), 542–549. [Dostupné online].

→ Higgins, J. A., Kurbatov, A. V., Spaulding, N. E., Brook, E., Introne, D. S., Chimiak, L. M., Yan, Y., Mayewski, P. A. a Bender, M. L. (2015). *Atmospheric Composition 1 Million Years Ago from Blue Ice in the Allan Hills, Antarctica*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(22), 6887–6891. [Dostupné online]

4 Relativní síla skleníkových plynů se vyjadřuje pomocí koeficientu GWP (*global warming potential*). Ten udává, kolik tepla daný skleníkový plyn zachytí v atmosféře za určité časové období ve srovnání s oxidem uhličitým (CO₂). Například pro metan je hodnota GWP ve stoletém časovém horizontu 27, což se dá číst jako „1 t CH₄ přispívá ke skleníkovému efektu v atmosféře jako 27 t CO₂“ (nebo zjednodušeně: metan je 27× silnější skleníkový plyn než CO₂). Hodnota koeficientu závisí na tom, jak silně a v jakých vlnových délkách plyn absorbuje tepelné záření a jaká je životnost skleníkového plynu v atmosféře.

V této publikaci je velikost příspěvku jednotlivých plynů k současnému oteplení počítána metodou GWP*. Ta zohledňuje dobu životnosti plynů v atmosféře přesněji než jednodušší metoda GWP100. Metodou GWP* však nelze snadno odpovědět na otázku, kolikrát je určitý skleníkový plyn silnější než CO₂, protože používá koeficient proměnný v čase. Proto relativní sílu skleníkových plynů vyjadřujeme pomocí GWP100.

→ Wikipedia contributors. (2025). *Global warming potential*. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [Dostupné online]

→ Ritchie, H. (2023). *Who Has Contributed Most to Global Warming? Sustainability by numbers*. [Dostupné online]

→ Lynch, J. et al. (2020). *Demonstrating GWP: a means of reporting warming-equivalent emissions that captures the contrasting impacts of short- and long-lived climate pollutants*. Environmental Research Letters, 15(4), 044023. [Dostupné online]

5 Vodní pára silně pohlcuje infračervené záření, čímž přispívá ke skleníkovému efektu. Její množství v atmosféře však závisí na teplotě planety, proto se nepovažuje za primární skleníkový plyn, ale za zesilující zpětnou vazbu v klimatickém systému. Hlavním zdrojem vodní páry v atmosféře jsou oceány, pokrývající 71 % povrchu planety – jakékoli faktory spojené s lidskou činností jsou oproti nim zanedbatelné. Celkové množství vodní páry souvisí s teplotou atmosféry: vzduch teplejší o 1 °C pojme asi o 7 % vodní páry více. Jakýkoli přebytek vodní páry se vysráží a spadne jako déšť či sníh. Navíc vodní pára se nachází pouze ve spodních vrstvách atmosféry (v troposféře), kde dominuje konvekativní přenos tepla – její koncentrace ve vyšších vrstvách, které jsou podstatné pro skleníkový efekt, je zanedbatelná. Časté tvrzení, že vodní pára je nejsilnější skleníkový plyn, tedy sice vyjadřuje její schopnost zachycovat infračervené záření, ale nezohledňuje její roli v klimatickém systému.

→ Mason, J. (2023). *Explaining how the water vapor greenhouse effect works*. Skeptical Science. [Dostupné online]

→ Wikipedia contributors. (2025). *Climate change feedbacks*. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [Dostupné online]

6 Skleníkový efekt je dobře prozkoumaný a měřeními prokázáný jev. Podrobné vysvětlení lze najít ve standardních vysokoškolských učebnicích fyziky atmosféry či klimatologie.

→ Pierrehumbert, R. T. (2010). *Principles of Planetary Climate*. Cambridge University Press.

→ Houghton, J. T. (2002). *The physics of atmospheres*. Cambridge University Press.

7 Doby ledové přinesly v různých místech planety různé velké ochlazení. Průměrně globální teploty klesly o 6–8 °C, ale například v Severní Americe a Evropě byly na vrcholu poslední doby ledové nižší až o 15 °C. Podstatnou roli hrála nejen nižší koncentrace CO₂, ale i zvýšení albeda v důsledku masivního zalednění.

→ Osman, M. B., Tierney, J. E., Zhu, J., Tardif, R., Hakim, G. J., King, J. a Poulsen, C. J. (2021). *Globally resolved surface temperatures since the Last Glacial Maximum*. Nature, 599(7884), 239–244. [Dostupné online]

8 Aerosoly, zejména oxidy síry, ale například i prachové částice a pyly, ovlivňují teplotu planety především tím, že odštiňují příchozí sluneční záření. Zároveň však ovlivňují tvorbu a typ oblačnosti, která má vliv i na průchod dlouhodobného (tepelného) záření atmosférou a tedy i na skleníkový efekt.

→ Myhre, G., Myhre, C. E.L., Samset, B. H. a Storelvmo, T. (2013). *Aerosols and their Relation to Global Climate and Climate Sensitivity*. Nature Education Knowledge 4(5):7. [Dostupné online]

9 Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to AR6*. [Dostupné online]

10 Přímá úměrnost mezi emisemi (resp. koncentracemi) CO₂ a teplotou planety, uváděná v hlavním textu, je praktickou aproximací mnohem komplexnějšího vztahu a působením řady procesů, které se vzájemně (víceméně) kompenzují:

V krátkodobém horizontu hrají podstatnou roli emise metanu, který má silný krátkodobý otepľující efekt, a emise aerosolů (zejména oxidů síry), které odštiňují sluneční záření a mají ochlazující efekt, čímž částečně „maskují“ oteplení způsobené skleníkovými plyny.

Tání ledovců trvá stovky až tisíce let a bude pokračovat i po dosažení klimatické neutrality. Plocha pokrytá ledem a sněhem snižuje albedo planety (její odrazivost) a tím ovlivňuje její teplotu. Je proto potřeba rozlišovat mezi krátkodobou citlivostí klimatu (*transient climate sensitivity*), která popisuje bezprostřední odezvu, a dlouhodobou rovnovážnou citlivostí klimatu (*equilibrium climate sensitivity*), která zohledňuje plně ustavení rovnováhy systému se všemi pomalými zpětnými vazbami.

Oceány částečně pohlcují CO₂ z atmosféry, po dosažení klimatické neutrality by tedy koncentrace CO₂ začaly mírně klesat.

Podrobné modelování těchto jevů ukazuje, že přibližně platí přímá úměrnost mezi kumulativními emisemi a teplotou – každých 1 000 miliard tun (gigatun) emisí CO₂ způsobí oteplení o přibližně 0,45 °C.

→ Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to AR6*. [Dostupné online]

→ Matthews, H. D. a Caldeira, K. (2008). *Stabilizing climate requires near-zero emissions*. Geophysical Research Letters, 35(4), L04705. [Dostupné online]

→ Joos, F., Roth, R., Fuglestvedt, J. S. et al. (2013). *Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis*. Atmospheric Chemistry and Physics, 13(5), 2793–2825. [Dostupné online]

→ Ricke, K. L. a Caldeira, K. (2014). *Maximum warming occurs about one decade after a carbon dioxide emission*. Environmental Research Letters, 9(12), 124002. [Dostupné online]

11 Hlavním zdrojem informací o pozorovaných změnách v klimatu Země a jejich dopadech jsou zprávy IPCC, zejména souhrny pracovních skupin WGI a WGII. Změnám v kryosféře a oceánech je věnována samostatná zvláštní zpráva.

→ Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to AR6*. [Dostupné online]

→ Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to AR6*. [Dostupné online]

→ Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. [Dostupné online].

12 Tato publikace používá teplotní data o planetě zpracovaná NASA GISS.

→ GISTEMP Team. (2025). *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4*. NASA Goddard Institute for Space Studies. [Dostupné online]

→ Lenssen, N., Schmidt, G. A., Hendrickson, M., Jacobs, P., Menne,

M. a Ruedy, R. (2024). *A GISTEMPv4 observational uncertainty ensemble*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 129(17), e2023JD040179. [Dostupné online]

→ Teploty z meteorologických stanic po celé planetě však vyhodnocuje více institucí, např. britský Met Office, Copernicus nebo Berkley Earth. Podrobnému srovnání těchto datasetů se věnuje článek Hausfather, Z. (2025). *State of the climate: 2024 sets a new record as the first year above 1.5C*. Carbon Brief. [Dostupné online].

13 Údaje pro aktuální oteplení světa se v různých zdrojích liší. Většinou proto, že se autor výroku vztahuje k jinému referenčnímu období nebo jinému koncovému roku trendu. V souvislosti s klimatickou změnou se používá zpravidla referenční období 1850–1900, často označované jako tzv. pre-industriál. Je však možné se setkat s udáváním oteplení oproti obdobím 1951–1980 či 1961–1990. V takových případech je hodnota oteplení světa nižší. Podobné je to s rozdíly v koncovém roku trendu. Meteorologové zpravidla udávají hodnotu oteplení jako průměr posledních tří dokončených dekád, tedy např. 1991–2020. To je ovšem zavádějící v době, kdy se oteplení světa mění tempem 0,2 °C za dekádu. V této publikaci se proto pro aktuální oteplení používá hodnota lineárního trendu, která je 1,3 °C v roce 2025. Jednotlivé roky v poslední době přitom měly vyšší i nižší teplotní anomálie – rok 2024 dosáhl zatím nejvyšší hodnoty 1,5 °C.

14 Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to AR6*. [Dostupné online]

15 Podrobnější informace o ztrátě hmoty Grónského a Antarktického ledového příkrovu poskytuje např.:

→ Earth.gov. Global Sea Level Change. [Dostupné online].

16 Zejména v Kanadě a na Sibiři dochází také k rozsáhlému tání permafrostu, což má mj. za následek narušení stability staveb postavených na dřívě zamrzlé půdě.

17 Podrobnější informace o vstupu hladin oceánů a jejich příčinách poskytuje např. Earth.gov. Global Sea Level Change. [Dostupné online]. Pozorovány jsou také náznaky změn v mořských proudech, zejména tzv. AMOC (*Atlantic Meridional Overturning Circulation*), které by mohly změnit regionální vzorce počasí po celém světě. Pravděpodobnost i dopady těchto změn jsou předmětem intenzivního vědeckého zkoumání. I v případě úspěšného zastavení změny klimatu bude hladina oceánů vzhledem k tepelné setrvačnosti dále stoupat po stovky let.

18 Lesní požáry mapuje organizace Global Forest Watch. [Dostupné online].

19 U.S. Department of the Treasury. (2025). *U.S. Department of the Treasury Report: Homeowners Insurance Costs Rising, Availability Declining as Climate-Related Events Take Their Toll*. [Dostupné online]

20 Měnící se ceny olivového oleje, kávy, kakaa a dalších komodit lze sledovat například na portálu Trading Economics. [Dostupné online].

21 Stav korálových útesů monitoruje Global Coral Reef Monitoring Network. [Dostupné online], teplotní změny v oceánech sleduje například Marine Heatwaves International Working Group. [Dostupné online].

22 Atribuční studie pro jednotlivé extrémní události zpracovává vědecký tým ve World Weather Attribution. [Dostupné online].

23 Zjištění, že oteplení planety je přibližně přímo úměrné kumulativním emisím a že každých 1 000 Gt CO₂ způsobí oteplení zhruba o 0,45 °C, je jedním z klíčových závěrů zprávy IPCC AR6 WG1. Emise ostatních

skleníkových plynů, zejména CH₄, mají z dlouhodobého hlediska na budoucí oteplení menší vliv než emise CO₂. V krátkodobé perspektivě následujících dekád jsou ale emise metanu významným faktorem pro udržení oteplení pod hranicí 2 °C.

→ Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to AR6*. [Dostupné online]

24 Body zlomu jsou předmětem dlouhodobých a rozsáhlých výzkumů, které shrnují zprávy IPCC. Čtenářsky přívětivější je přehled klimatického institutu v Potsdamu nebo Wikipedie.

→ Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to AR6*. [Dostupné online]

→ Potsdam Institute for Climate Impact Research. (2025). *Tipping Elements – big risks in the Earth System*. [Dostupné online]

→ Wikipedia contributors. (2025). *Tipping points in the climate system*. In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. [Dostupné online]

25 Modelování očekávaného oteplení planety v roce 2100 ve scénářích pokračování současných politik a ve scénářích klimatické neutrality zpracovává řada institucí s víceméně podobnými výsledky – scénáře současných politik vedou k oteplení okolo 3 °C v roce 2100, scénáře klimatické neutrality vedou k oteplení 1,7–2 °C okolo roku 2050.

→ Climate Action Tracker. (2024). *The CAT Thermometer*. [Dostupné online]

→ BloombergNEF. (2025). *New Energy Outlook 2025*. [Dostupné online]

→ International Energy Agency. (2021). *World Energy Outlook 2021*. [Dostupné online]

→ Shell. (2023). *The Energy Security Scenarios*. [Dostupné online]

26 Český hydrometeorologický ústav. *Historická data: územní teploty*. [Dostupné online]

27 Trend oteplování je pro různé měsíce odlišný – od cca 0,15 °C za dekádu pro září a říjen po cca 0,45 °C za dekádu pro červenec, srpen, prosinec a leden – tyto zimní a letní měsíce se od roku 1961 oteplily o více než 3 °C.

→ Fakta o klimatu. (2022). *Trend nárůstu teplot v ČR v jednotlivých měsících*. [Dostupné online]

28 CzechGlobe, Ústav výzkumu globální změny AV ČR. (2025). *Klimatická změna: počet tropických dní*. [Dostupné online]

29 CzechGlobe, Ústav výzkumu globální změny AV ČR. (2025). *Klimatická změna: počet mrazových dní*. [Dostupné online]

30 CzechGlobe, Ústav výzkumu globální změny AV ČR. (2025). *Klimatická změna: průměrný roční úhrn srážek*. [Dostupné online]

31 Česko v datech. (2023). *Voda v krajině*. [Dostupné online]

32 CzechGlobe, Ústav výzkumu globální změny AV ČR. (2021). *Zemědělské sucho překonalo mezi léty 2015–2018 všechny suché periody v posledních dvou tisíciletích*. [Dostupné online]

33 World Weather Attribution. (2024). *Climate change and high exposure increased costs and disruption to lives and livelihoods from flooding associated with exceptionally heavy rainfall in Central Europe*. [Dostupné online]

34 Ministerstvo pro místní rozvoj. (2024). *Vláda schválila dokumentaci programu Odstraňování povodňových škod*. [Dostupné online]

Atlas dekarbonizace Česka

Vydala Fakta o klimatu ve spolupráci s Tiskárnou Helbich, a.s.
v Brně v září 2025.

Vydání první.

Licence Creative Commons CC BY 4.0

Autorstvo:

Ondřej Přibyla

Jan Krčál

Petr Daniš

Kateřina Kolouch Grabovská

Alexandra Snováková

Informační design:

Kristína Pšorn Zákopčanová

Petr Holík

Zbyněk Štajer

Sazba a grafická úprava:

Marcel Otruba

Bronislav Musil

Kateřina Kolouch Grabovská

Kristína Pšorn Zákopčanová

Editace:

Jiří Lněnička

Korektura:

Barbora Zoja Zuchová

Tisk:

Tiskárna Helbich, Brno

Písmo:

Roobert

Ke vzniku publikace dále přispěli svými připomínkami a vstupy:

Michal Berg, Zdeněk Daniel, Matěj Kolouch Grabovský (Fakta o klimatu),

Marie Jirková, Radka Zounková

ISBN 978-80-7609-022-4

V předchozích dvou stoletích dosáhlo lidstvo značného pokroku díky energii z uhlí, ropy a zemního plynu. Využívání těchto paliv ale také vedlo k výraznému zvýšení koncentrací oxidu uhličitého v atmosféře a ke globálnímu oteplování, které dnes ohrožuje velké ekosystémy, způsobuje tání ledovců a zvyšuje hladiny oceánů. Častější a silnější jsou i extrémní projevy počasí jako vlny veder, sucha či povodně. Všechny tyto změny mají dalekosáhlé dopady na ekosystémy, zemědělskou produkci, lidské zdraví a životy a také na lidská obydlí a infrastrukturu.

Proměna světa, která spočívá v odklonu od fosilních paliv, už začala. V mnohem větší míře se dnes využívají obnovitelné zdroje i další technologie. Emise skleníkových plynů už v mnoha státech klesají a očekává se, že celosvětově dosáhne produkce emisí vrcholu do roku 2030. Součástí tohoto měnícího se světa je i Česko a na tom, jak tyto změny zvládne, závisí také jeho další prosperita. Čekají nás nelehké diskuze a kroky, při kterých se může hodit mapa terénu, do něhož vstupujeme. A právě s touto ambicí vznikl *Atlas dekarbonizace Česka*, který nyní držíte v ruce.



ISBN 978-80-7609-022-4

