

**Klimatická neutralita:
stanovisko Komise pro problematiku klimatu při RVVI**

Říjen 2020

Složení komise:

prof. MUDr. Jan Lata, CSc. (předseda)¹
Mgr. Alexander Ač, Ph.D. (do září 2020)²
Ing. Daniel Beneš, MBA³
Mgr. Romana Beranová, Ph.D.⁴
prof. RNDr. Jakub Hruška, CSc.^{2 5}
Ing. Soňa Jonášová⁶
PhDr. Anna Kárníková, MSc.⁷
doc. Ing. Vladimír Kočí, Ph.D., MBA⁸
Mgr. Vojtěch Kotecký, Ph.D.⁹
Ing. Martin Sedlák¹⁰
Mgr. Petr Holub¹¹
Ing. Martin Hrdlička, Ph.D.¹²
prof. Mgr. Ing. Miroslav Trnka, Ph.D.²
RNDr. Radim Tolasz, Ph.D.¹³
Mgr. Milan Ščasný, Ph.D.⁹
Mgr. Filip Hájek (stálý host)¹⁴

1. Lékařská fakulta Ostravské univerzity
2. CzechGlobe – Ústav výzkumu globální změny AV ČR
3. ČEZ
4. Ústav fyziky atmosféry AV ČR
5. Česká geologická služba
6. Institut cirkulární ekonomiky
7. Hnutí DUHA
8. Fakulta technologie ochrany prostředí Vysoké školy chemicko–technologické
9. Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy
10. Svaz moderní energetiky
11. Šance pro budovy
12. Škoda Auto
13. Český hydrometeorologický ústav
14. Ocelářská unie

1. Úvod

Vláda České republiky se s ostatními státy Evropské unie shodla, že nejpozději do poloviny století chce EU postupně dosáhnout tzv. klimatické neutrality. Potom by už unijní země neměly do atmosféry přidávat více skleníkových plynů, než z ní odčerpávají. Svým dílem tak přispějí k naplnění Pařížské smlouvy, podle níž se zvyšování koncentrace skleníkových plynů v atmosféře má zastavit na takové úrovni, aby růst globální průměrné teploty nepřekročil hranici 2 °C.

Před Českem tedy stojí dva důležité úkoly. Především potřebuje během tří dekád podstatně snížit svoji spotřebu fosilních paliv a najít další vhodné technologie, jak snižovat emise. Mezitím se musí nachystat na nové klimatické podmínky, které předpokládáný dvoustupňový nárůst globální teploty vytvoří. Komise pro problematiku klimatu při Radě vlády pro vědu, výzkum a inovace proto sestavila toto stanovisko, které podrobněji rozebírá, co přechod na klimatickou neutralitu bude vyžadovat. Jak by měly stát, obce i podniky postupovat, na co se potřebují přichystat a čím mohou přispět.

2. Proč stát podporuje směřování EU ke klimatické neutralitě

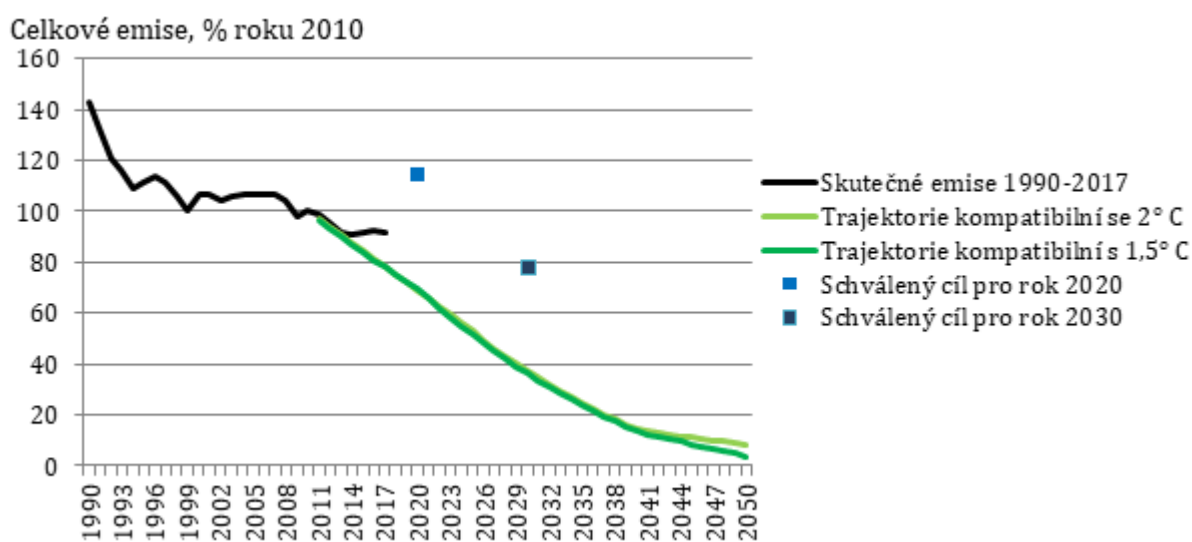
Rámcová úmluva OSN o změně klimatu z roku 1992 stanovila hrubý cíl „dosáhnout... stabilizace koncentrací skleníkových plynů v atmosféře na úrovni, která by umožnila předejít nebezpečným důsledkům vzájemného působení lidstva a klimatického systému“ (čl. 2).¹

Skleníkové plyny v atmosféře regulují globální teplotu. Jejich koncentrace od průmyslové revoluce postupně roste. Příčinou je především spotřeba fosilních paliv a odlesňování. Pokud bychom brali v potaz pouze přirozené faktory – zejména sluneční aktivitu –, během minulých 150 let by se teplota prakticky neměnila, v posledních dekádách možná dokonce mírně klesala.² Ale trend je přesně opačný. Podle Světové meteorologické organizace byly roky 2015–2019 o 1,1 °C teplejší než průměr období 1850–1900. Rok 2019 byl druhý nejteplejší v historii měření: hned po rekordním roce 2016, jehož teplotu ale ovlivnil velmi silný (přírodní) jev El Niño.³

Jaký nárůst globální teploty je ovšem ještě přijatelný a jaký už není? Před deseti lety Kodaňská úmluva navrhla, aby touto hranicí byly 2 °C. Pařížská dohoda posléze tuto hranici potvrdila s tím, že mezinárodní společenství také bude usilovat, aby se růst průměrné globální teploty udržel do 1,5 °C (čl. 2).⁴ Česká republika Pařížskou dohodu ratifikovala v listopadu 2017. Stejně tak učinilo dalších 189 účastníků Rámcové úmluvy OSN.

Na základě klimatických modelů lze k cílové teplotě (např. 1,5 nebo 2,0 °C) odhadnout takzvaný uhlíkový rozpočet. Ten stanoví, jaké množství skleníkových plynů je možné ještě vypustit do vzduchu, aby byla přiměřená pravděpodobnost, že se podaří cílovou teplotu nepřekročit.⁷ Tento objem lze posléze rozpočítat mezi jednotlivé státy. Pro Evropskou unii vychází, že by nejpozději po polovině století už neměla zvyšovat koncentraci skleníkových plynů v atmosféře. Aby se podařilo Pařížskou dohodu naplnit, musí přirozeně podobně postupovat také ostatní důležité ekonomiky.

Obr. 1: České emise skleníkových plynů od roku 1990 a trajektorie dalšího snižování kompatibilní s Pařížskou dohodou



Pozn.: Emise včetně nepřímých, bez LULUCF

Zdroj: ČHMÚ 2019⁵, duPont et Meinshausen 2018⁶

EU postupuje společně. Aby dodržely svoji část uhlíkového rozpočtu, která vyplývá z Pařížské dohody, členské státy unie na summitu v prosinci 2019 schválily, že chtějí do poloviny století dosáhnout klimatické neutrality.⁸ Neznamená to nezbytně, že každý stát musí být neutrální v roce 2050. Evropská komise navrhla, aby cíl platil pro unii dohromady, s vědomím, že pro některé státy je významné snižování emisí obtížnější.

Co je klimatická neutralita

Lidé přidávají do atmosféry skleníkové plyny. Při spalování uhlí nebo ropy nebo vypalování lesů vzniká oxid uhličitý. Ze skládek odpadu, rýžových polí a těžby zemního plynu uniká metan. Při používání dusíkatých hnojiv se uvolňuje oxid dusný atd. Ale skleníkové plyny lze z ovzduší také odebírat. Při správné péči například lesy nebo půda pohlcují uhlík a snižují tak množství oxidu uhličitého v atmosféře.⁹

Pokud tedy nechceme dál zvyšovat koncentraci skleníkových plynů v atmosféře, nevyžaduje to nutně nulové emise. Stačí, aby nulový byl součet kladných (emise) a záporných (pohlcování) položek. Takovému nulovému součtu se říká klimatická neutralita (popřípadě uhlíková neutralita či *net zero emissions*).

Jak se měří neutralita?

Klimatická neutralita není nic jiného než nulový rozdíl mezi emisemi a pohlcováním (tzv. propady) skleníkových plynů. Emise i pohlcování se propočítávají podle standardizované mezinárodní metodiky. Každý stát každoročně připravuje národní emisní inventuru. Pro Česko ji sestavuje Český hydrometeorologický ústav.⁵ Propady v české krajině – tedy roční změna v množství uhlíku zadržovaného lesy, půdou, mokřady či vytěženým (a nespáleným) dřevem – nyní odpovídají jednotkám procent vypuštěných emisí. Kvůli suchu a kůrovcové kalamitě se však tento podíl propadů dostává na nulu.

Různé skleníkové plyny se liší radiační účinností (tzv. potenciálem globálního oteplování). Např. metan má čtyřiatřicetnásobně větší účinek než oxid uhličitý.¹⁰ Proto se emise vždy přepočítávají na tzv. CO₂ ekvivalent (CO_{2eq}) a pak teprve sčítají.

3. Podíl Česka na globálních emisích

Jaký je vlastně podíl Česka na globálních emisích – a jaký by tedy měl být jeho příspěvek ke snižování emisí?

Jedním způsobem, jak to porovnávat, je aktuální podíl na součtu globálních emisí. Evropská unie v roce 2018 vypustila 9,2 % ze světových emisí skleníkových plynů, Česká republika se na nich podílela 0,3 %.¹¹ Emise skleníkových plynů vtělené ve spotřebě jsou však vyšší. Uhlíková stopa (*carbon footprint*) spotřeby, která zahrnuje přímé (domácí) emise i emise nepřímé (vtělené v dováženém zboží), je v EU o přibližně 30 % větší než samotné domácí (přímé) emise.¹² Při započtení států, jež nejsou členy unie, se evropský kontinent na globálních emisích podílí 16 %; k uhlíkové stopě globální spotřeby přispívá 20 %.¹³

Emise přirozeně závisí mj. na velikosti státu. Další možností tedy může být příspěvek každé země přepočítaný na jednoho obyvatele. Globální průměr činí asi 6,7 tuny skleníkových plynů na obyvatele a rok. Evropská unie vypouští 8,9 tuny CO_{2eq}.obyv⁻¹.rok⁻¹ a Česko 12,2 tuny.¹³

A konečně je možné odhadnout celkové emise, které země doposud přidala do atmosféry. Vliv na klima mají kumulativní emise, nikoli jen aktuální množství, které se vypustí právě v daném roce. Čísla jsou jenom přibližná, protože chybí přesná data, měnily se státní hranice a podobně. Pro většinu zemí – včetně Česka – navíc prozatím nejsou publikována. Nicméně podíl Evropské unie na kumulativních historických emisích po roce 1990 činí přibližně 27 %.¹⁴ Při započtení starších emisí by byl nesporně větší, ale chybí potřebná data.

Pro porovnání: uhlíková stopa spotřeby českých domácností (bez výdajů na bydlení) v roce 2010 činila 7,75 t CO_{2eq} na osobu, s průměrnou intenzitou 72 kg CO_{2eq} na 1000 Kč spotřebních výdajů. Spotřeba tepla se na ní podílela 41 %, elektřina 21 %, jídlo a doprava 13 %, respektive 12 %, a spotřeba ostatního zboží či služeb 8 % a 5 %.¹⁸

A jak postupuje zbytek světa?

Evropská unie samozřejmě není sama. K legislativou závazně stanovenému cíli klimatické neutrality se už rozhodly státy (nebo dílčí jurisdikce, například Kalifornie), které dohromady tvoří 49 % světové ekonomiky.¹⁵ Po započtení nedávného oznámení Číny, že počítá s uhlíkovou neutralitou v roce 2060, by se podíl ještě podstatně zvýšil.

V čistých technologiích už některé státy světa předešly Evropu. Čína a Indie v roce 2018 postavily více solárních elektráren než celý zbytek světa dohromady a na větrných se podílely 46 %.¹⁶ Největší podíl solárních zdrojů na spotřebě elektřiny má Honduras (12 %) a větrných elektráren Uruguay (33 %).¹⁶ USA během uplynulé dekády snížily výrobu elektrické energie z uhlí o polovinu.¹⁷ Plán Trumpovy administrativy odstoupit od Pařížské dohody na tom nic nezměnil. Jenom během roku 2019 spotřeba uhlí v americké elektroenergetice klesla o 18 %.¹⁷

4. Náklady a přínosy klimatické neutrality

Směřování ke klimatické neutralitě má kromě přínosů – přímých nebo souběžných (viz rámeček *Souběžné přínosy*) – také své náklady. Klimatické neutrality je potřeba dosahovat tak, aby kompletní společenské náklady, včetně externalit, byly co nejnižší. Mezi projekty by měly být vybírány ty, které mají nejlepší poměr mezi přínosy a náklady.

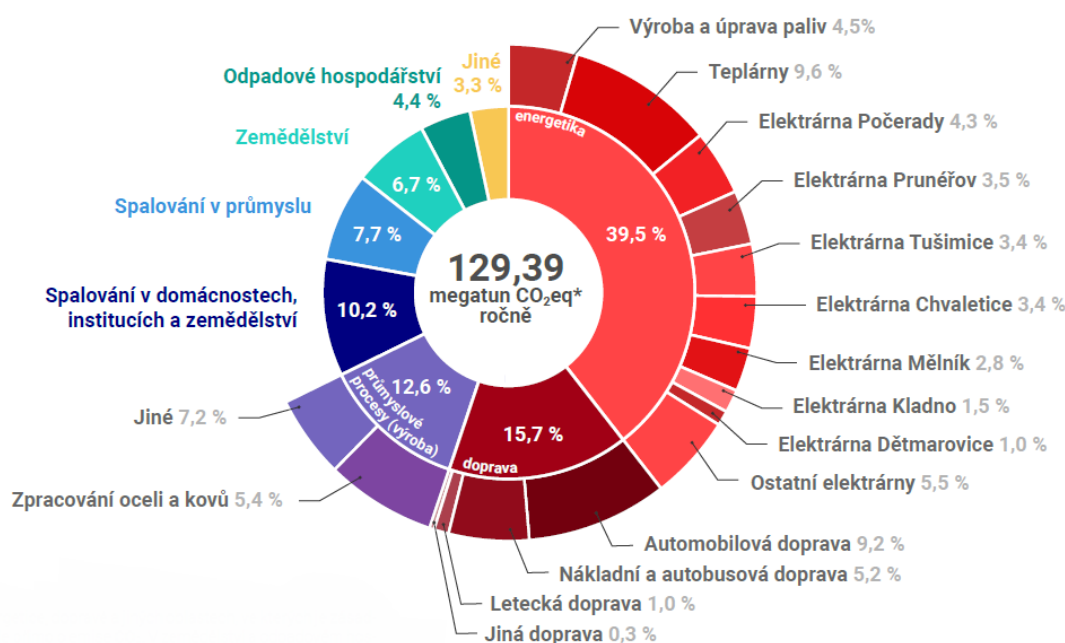
Spíše než přímo rozhodovat, jak konkrétně se klimatické neutrality dosáhne, intervence státu (viz kapitola 6) by měly usměrňovat rozhodnutí privátních subjektů, určovat mantinely nebo vytvářet ekonomické pobídky pro řešení, která minimalizují celospolečenské náklady (včetně externalit).

Ekonomické náklady

Česku chybí komplexní ekonomický odhad přínosů a nákladů přechodu na uhlíkovou neutralitu, který by vznikl standardní ekonomickou metodikou (například modelem obecné rovnováhy nebo makro-ekonomickým modelem).

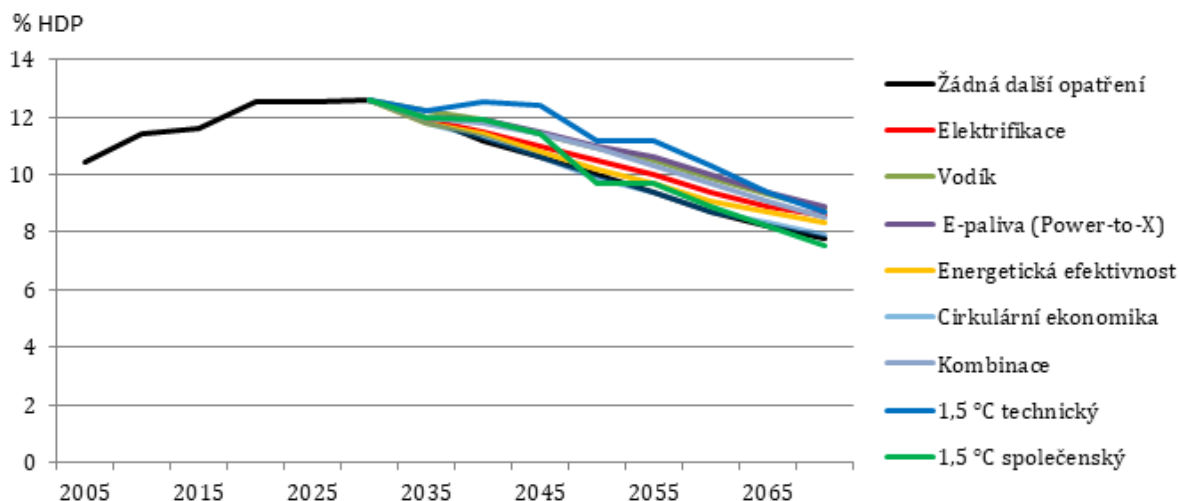
Nicméně české instituce i týmy ze zahraničí už provedly řadu dílčích studií nebo predikcí. Predikce dopadů osmdesátiprocentního snížení emisí skleníkových plynů ukázala, že oproti scénáři Státní energetické politiky 2015 by vyžadovalo o 0,5 % vyšší diskontované náklady v případě, že jaderná elektrárna Dukovany zůstane v provozu do roku 2035, respektive 0,15 % vyšší, pokud se provoz prodlouží do roku 2045.²⁰ Scénář bez nového jaderného zdroje přitom vede k mírně nižším diskontovaným nákladům než scénář s ním (0,1 % oproti Státní energetické koncepci 2015). Celkové vyvolané náklady činí 0,1 % kumulativního hrubého domácího produktu v letech 2020-2050.

Obr. 2: Podíl sektorů a klíčových zdrojů na českých emisích skleníkových plynů (%)



Zdroj: Faktaoklimatu.cz 2020¹⁹

Obr. 3: Relativní náklady energetického systému v zemích EU: srovnání nulových opatření s osmi variantami klimatické neutrality



Zdroj: Evropská komise 2018²¹

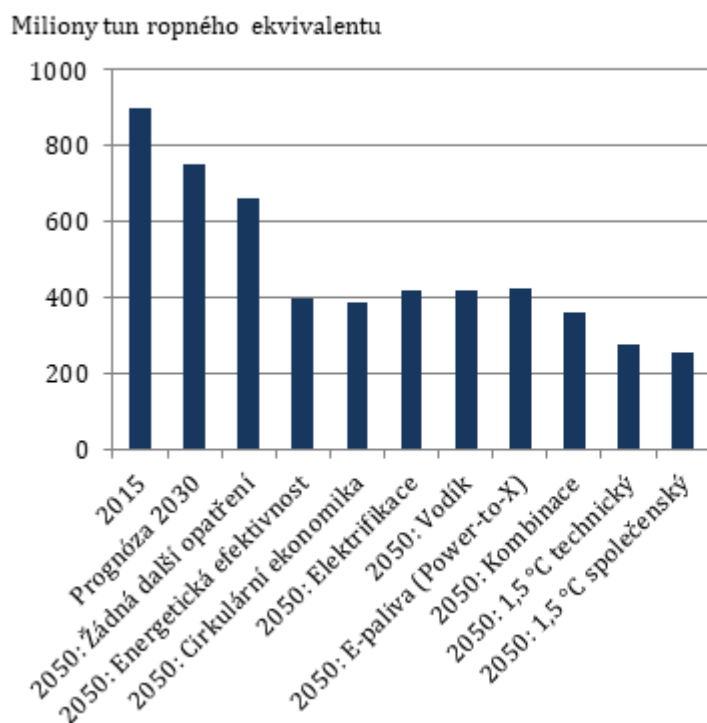
Studie Deloitte analyzovala ekonomické dopady vládního návrhu Národního klimaticko-energetického plánu, který počítá s tím, že v roce 2030 budou obnovitelné zdroje tvořit 20,8 % české spotřeby energie, pomocí input-output analýzy. Proti variantě bez jakýchkoliv dalších opatření (BAU: scénář business-as-usual), by ekonomická produkce byla nižší o 133 miliard korun, přidaná hodnota o 50 miliard Kč a veřejné rozpočty o 22 miliard Kč, vše kumulativně za celou dekádu 2020-2030, což indikuje poměrně malé dopady, v ekvivalentu 0,04–0,2 % HDP.

Náklady energetického systému (součet investic a provozních nákladů) ve všech státech EU v roce 2015 činily 1,6 bilionu eur a ty i bez jakýchkoli dalších opatření (tj. BAU) stoupnou na zhruba 2,15 bilionu eur v roce 2035 a 2,25 bilionu eur kolem roku 2050. Studie Evropské komise kvantifikovala náklady osm různých technologických variant, jak dosáhnout klimatické neutrality (viz Obr. 3).²¹ Rozdíl nákladů mezi těmito variantami a pokračováním statu quo se pro rok 2035 pohybuje mezi snížením o 30 miliard eur a zvýšením o 40 miliard eur. Kolem poloviny století by měly vícenáklady činit záporných 22 miliard až kladných 516 miliard eur ročně. Náklady na energetický metabolismus evropské ekonomiky se tedy v žádné variantě kromě jediné během příštích tří dekád nezvýší o více než 11 % (a v žádné o více než čtvrtinu); některá řešení by jej dokonce zlevnila.²¹

Poměrně malý rozdíl mezi pokračováním statu quo a klimatickou neutralitou má několik příčin. Především ani kdyby se evropské státy nepokoušely o snižování emisí, pořád by se stavěly nové elektrárny, modernizovaly sítě nebo kupovaly nové automobily. Proto by velká část investic byla i tak realizována. Navíc je potřeba započítávat také úspory. Úspěšnější technologie mají obvykle vyšší pořizovací náklady, ale levnější provoz. Proto evropské ekonomiky v každé variantě mají o desítky procent nižší výdaje na dovoz energie, vesměs ropy a zemního plynu (viz Obr. 4).

Kromě toho náklady a přínosy samozřejmě nevznikají pouze ve výrobě a spotřebě energie. Výroba čistších technologií oživí poptávku po průmyslových výrobcích nebo ve stavebnictví. Snižování emisí také posílí přístupy, u kterých jsou jen malé možnosti přesunout výrobu za hranice EU: renovace budov, cirkulární nakládání se surovinami a podobně. Proto klimatická neutralita často může představovat ekonomickou příležitost, podpořit zejména malé a střední podniky a zvýšit zaměstnanost.

Obr. 4: Import energie do zemí EU: porovnání roku 2015 a prognózy na rok 2030 s rokem 2050 v osmi variantách klimatické neutrality



Zdroj: Evropská komise 2018²¹

Několik makro-strukturních ekonomických modelů kvantifikovalo celkové dopady na ekonomiku Česka, popřípadě zemí střední a východní Evropy. Podle projektu REEM by snížení emisí skleníkových plynů o 80 % omezilo HDP v regionu o 11 % v roce 2050, zatímco zaměstnanost by stoupla o 4 %.²² V letech 2030 a 2040 by rozdíl v HDP byl -0,7 %, respektive -5 %. Splnění Pařížské dohody, které by vedlo ke snížení emisí o 95 %, by omezilo HDP o 43 % a zaměstnanost o 10 % v roce 2050, zatímco v letech 2030 a 2040 by HDP byl nižší oproti statu quo o 2 %, respektive 12 %. Makro-ekonometrický model E3ME, který předpokládá, že se ekonomika bude novým šokům a cenovým změnám postupně přizpůsobovat, vede naopak při 62% podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě energie k mírnému zvýšení HDP i zaměstnanosti v regionu o 0,2 %, respektive a 0,3 %.²³ Podobně zatímco BAU scénář s pokračujícími emisemi (a potažmo změnami klimatu) by snížil roční český HDP o 0,57 %, opatření potřebná k udržení teplotního růstu na ≈ 2 °C (scénář RCP4.5) nebo ≈ 1 °C (scénář RCP2.6) by měla snížení omezit na 0,35 %, respektive 0,17 % HDP.²⁴

Další náklady

Náklady ovšem nemusí být pouze ekonomické. Nevhodně vybraná řešení by také mohla vyvolat nadměrné environmentální škody. Například intenzivní, velkoplošné pěstování biomasy pro uhlíkově neutrální výrobu energie může vytlačovat biologickou diverzitu, degradovat půdu nebo zabírat enormní plochu.

Proto je nezbytné řešení (viz kapitoly 5–6) pečlivě vybírat a připravovat tak, aby se předešlo nadměrným finančním i environmentálním nákladům. Některé technologie mohou být vysloveně nevhodné (například použití palmového oleje jako bionafty). Jindy může záležet na konkrétním provedení (například vhodné rozmístění větrných elektráren).

Přínosy

Druhou stranou téže mince jsou náklady změny klimatu. Globální oteplení o 3 °C by blahobyt ve státech Evropské unie snížilo nejméně o 175 miliard eur ročně (1,38 % HDP).²⁵ Udržení růstu teploty na 2 °C a 1,5 °C by snížilo náklady na 83 miliard eur (0,65 % HDP), respektive 42 miliard eur (0,33 % HDP). Pro region středojižní Evropy, do kterého bylo zařazeno také Česko, jsou dopady mírně vyšší: 1,83 % HDP při růstu teplot o 3 °C versus 0,65 % při 2 °C a 0,47 % při 1,5°C. Největším dílem ke škodám přispívá vyšší úmrtnost kvůli extrémním teplotám (65–85 %), povodně (14–18 %), sucho (3–6 %) a dopady na zemědělskou produkci (<5 %). Přitom mitigace změn klimatu často není jediným přínosem opatření, jež snižují emise skleníkových plynů (viz rámeček *Souběžné přínosy*).

Nejvíce citlivé sektory a regiony

Česko patří v Evropě mezi státy s největší spotřebou energie na jednu vyrobenou korunu hrubého domácího produktu. Často panuje představa, že příčinou je vysoký podíl průmyslu na ekonomice. Statistická analýza Úřadu vlády ovšem ukázala, že tomu tak není. Pokud se vliv odvětvové struktury očistí, posune se Česko mezi zeměmi EU o pouhé dvě příčky níže.²⁶ Obava z plošných nákladů pro ekonomiku je tedy zavádějící.

Rizikovým bodem přechodu na klimatickou neutralitu je konkrétní provedení nebo konsekvence v dílčích regionech či sektorech. Pozornost politiky by se měla soustředit na předcházení nákladům v místech, kde lze očekávat větší dopady: uhelné revíry, automobilový a energeticky náročný průmysl.

Česká těžba uhlí klesá už tři desetiletí. Kvůli nižší poptávce se mezi roky 1990 a 2018 snížila o 60 %. Počet zaměstnanců ubývá ještě rychleji, protože důlní společnosti redukují

Souběžné přínosy

Stát bude v příštích desetiletích dělat řadu cílených opatření, která pomohou dosáhnout klimatické neutrality. Některá z nich vzniknou doma, jiná vyplývají z unijní legislativy. Ale stejnému účelu přispívají také intervence, jež původně měly úplně jiný účel. Například řada kroků, které se v zemědělství původně zaváděly kvůli ochraně půdy před erozí nebo obnově biologické diversity, napomáhá rovněž k ukládání uhlíku v zemi (a také k adaptaci na změny klimatu). Podobně prvotním impulsem pro rozvoj elektromobility nebyla uhlíková náročnost, nýbrž místní znečištění ovzduší. Kvůli vysokým koncentracím mikročastic prachu, oxidu dusičitého a přízemního ozonu ve státech EU umírá kolem 400 000 lidí ročně.¹ Pravidelná zpráva ministerstva životního prostředí podotýká, že „koncentrace znečišťujících látek v ovzduší...v oblastech, kde byla v předchozích letech identifikována zhoršená kvalita ovzduší, meziročně významně neklesají“.¹ Mezi hlavní příčiny patří – společně s domácím vytápěním – automobilová doprava ve městech. Elektromobily umožňují emise na ujetý kilometr snížit. Navíc, i pokud by používaly elektřinu vyrobenou z fosilních paliv, spalování alespoň dostanou z bezprostředního sousedství lidí v ulicích.

Může ale platit také opak. Příkladem je podpora automobilových biopaliv, která sice sníží spotřebu fosilních paliv a podpoří přechod na obnovitelné zdroje, avšak nemusí vést například ke snížení emisí oxidů dusíku. Proto je důležité hodnotit dopady každého opatření komplexně, včetně dopadů na ekonomiku a zaměstnanost, lidské zdraví a další environmentální externality. Jako ilustrace poslouží analýzy provedené modelem obecné rovnováhy pro Česko.²⁹ Redukce emisí CO₂ o jednu tunu může snížit negativní dopady na zdraví, materiály, úrodu a ekosystémy o 35–80 eur.³⁰

náklady na pracovní sílu. Navíc postupně dochází přístupné zásoby suroviny, takže poslední doly skončí kolem roku 2050. Uzavírání hnědouhelných elektráren může tento trend urychlit, ale není jeho hlavní příčinou. Státní politika proto už řadu let do uhelných revírů cílevědomě přivádí nová odvětví, vylepšuje zde kvalitu života a investuje do veřejných služeb. Schválený program RE:START je důležitým krokem, na který by měly navázat další. Snižování emisí je jen dodatečným důvodem, proč v něm pokračovat a posílit jej.

Výroba automobilů (a komponent k nim) je klíčovým sektorem českého průmyslu. Tvoří 9 % HDP, 27 % exportu a zaměstnává 500 000 lidí. Automobily se budou nadále nakupovat a vyrábět, ačkoli s jinými pohony. Přesto přechod ke klimatické neutralitě v kombinaci s rapidními inovacemi znamená nemalou výzvu pro tuzemské dodavatele, a to ze dvou důvodů. Úvodní kroky k neutralitě mohou upřednostňovat technologie, které jsou prozatím ještě nákladnější, a tím dočasně, v prvních letech přibrzdit poptávku. Především se ale promění struktura a komponenty nových vozidel. Přechod především na elektromobily bude náročný nejen na inovace a investice, ale také vyžaduje změnu výroby v celém subdodavatelském řetězci. Baterie, elektromotory nebo výkonová elektronika se v Česku nyní nevyrábějí. Proto hrozí, že po částech stávajícího sortimentu přestane být poptávka a nové se budou importovat. Podniky i stát by měly účinně, rychle a koordinovaně postupovat, aby podpořily vznik dodavatelského ekosystému nové mobility v tuzemské ekonomice. Pomůže také vznik jasného regulačního rámce, podpora infrastruktury a integrovaných dopravních systémů. Stát by proto mohl uvážit vytvoření speciálního týmu, který by koordinoval podniky, resorty, města a kraje, aby průmysl i dopravní systémy připravil na elektromobilitu, vodíkové pohony a syntetická paliva.

Komplikaci pro energeticky náročný průmysl (především výroba železa a oceli, cementárny, chemický a papírenský průmysl) znamenají náklady na motivační cenu uhlíku (viz kapitola 8). Musí za emisní povolenky platit dílem přímo, dílem ve vyšší ceně elektřiny. Přitom ji nemohou promítnout do ceny vyráběného zboží, aniž by přišly o konkurenceschopnost na globálních trzích. Technologie, které by umožnily vyrábět s nízkými emisemi, v řadě odvětví teprve vznikají. Proto hrozí, že domácí produkci nahradí dovoz ze třetích států a některé provozy zaniknou. Globální emise mohou i stoupnout v případě, že výroba v těchto zemích je uhlíkově náročnější. V těchto případech je důležitá ochrana konkurenceschopnosti evropských podniků (viz kapitola 8), podpora trhu s čistšími produkty (nízkoemisními, recyklovanými a recyklovatelnými) a inovativními technologiemi (například využití vodíku v těžkém průmyslu: kapitola 5) či spotřeby takových řešení (kapitola 8). Rovněž bude nezbytné pomoci s aplikací inovativních technologií a zajistit stabilní a dostatečné množství energie z čistých zdrojů, bez níž by nebyla možná elektrifikace průmyslových procesů (kapitola 5).

5. Snižování emisí

Uhlíkové neutrality lze dosáhnout kombinací tří typů opatření: (i) snižováním emisí (aby skleníkových plynů v atmosféře přibývalo méně), (ii) popřípadě jejich přímým zachycováním u vzniku, a (iii) odčerpáváním uhlíku z atmosféry (aby se emise kompenzovaly). České emise skleníkových plynů shrnuje Obr. 2. Naznačuje, na která odvětví se snaha o dosažení uhlíkové neutrality bude nezbytně soustřeďovat. Elektroenergetika, teplárenství, výroba tepla v domácnostech a osobní automobilová doprava se na tuzemských emisích podílejí asi 60 %.

Koncentraci skleníkových plynů v atmosféře nelze stabilizovat jedním řešením: nutně se musí kombinovat více různých technologií. Možnosti každé z nich přispět ke stabilizaci začínají na nule a postupně, během příštích několika dekád, se budou rozšiřovat. Které konkrétní technologie se ale použijí, prakticky určí především trh. Stát do něj ovšem může intervenovat a cíleně podpořit dílčí opatření (viz kapitola 7).

Snižování emisí skleníkových plynů lze dosáhnout přechodem od fosilních paliv na jiné zdroje energie a snižováním spotřeby energie. Evropská komise vyčíslila osm různých technologických variant – kombinací, kterými členské státy mohou postupovat (viz Obr. 5). Šest z nich zajistí ekvivalentní příspěvek EU ke stabilizaci skleníkových plynů na koncentraci, která je nezbytná pro udržení teplotního růstu na hranici 2 °C. Zbývající dva míří k hranici 1,5 °C. Kombinace se liší relativním důrazem na energetickou efektivnost, silnější elektrifikaci nebo obnovitelné zdroje energie atd. Každý ze scénářů ovšem ve větší nebo menší míře kombinuje všechna tato řešení.

Výroba energie bez fosilních paliv

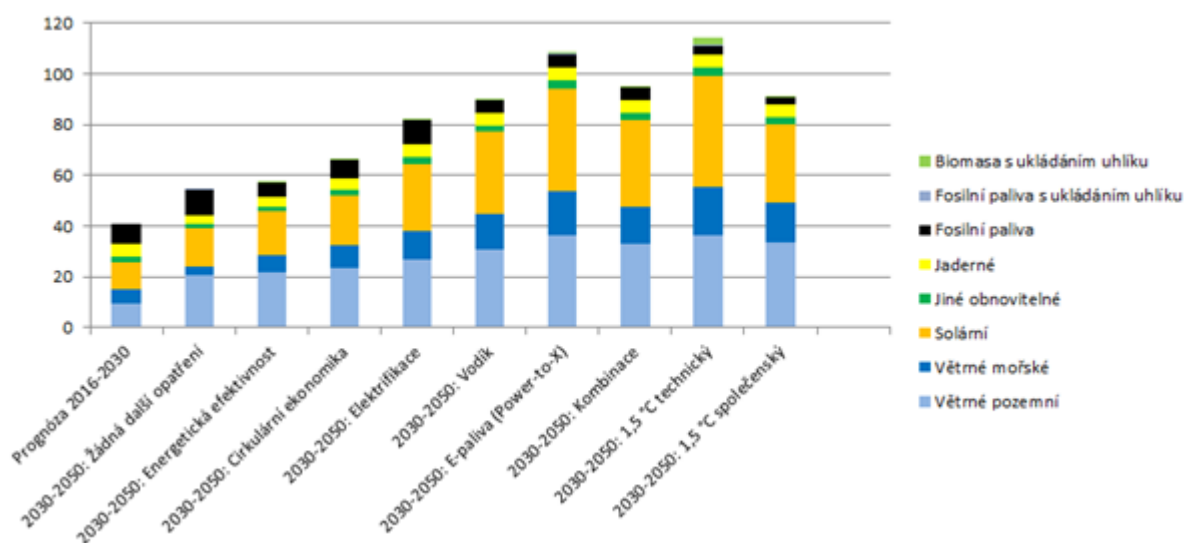
Klíčový příspěvek ke klimatické neutralitě musí a bude mít náhrada fosilních paliv při výrobě energie. Tedy přechod k obnovitelným zdrojům a jaderné elektřině. Možnosti se postupně rozšiřují díky inovacím, které mění strukturu energetiky a povahu trhu. Nové technologie umožňují lokální mikrovýrobu, účinnější řízení spotřeby, dodávky elektřiny s extrémně nízkými mezními náklady nebo ukládání elektřiny.

Navíc rapidně klesají ceny obnovitelných zdrojů. Globální průměrné náklady větrných elektráren se mezi roky 2010 a 2019 snížily o 38 %. Fotovoltaické moduly jsou o 82 % levnější než počátkem minulé dekády (a zhruba o 99 % oproti konci sedmdesátých let). Plné náklady na elektřinu z velkých obnovitelných zdrojů jsou tak již nižší než pro nové elektrárny na fosilní paliva. Pozemní větrná energetika a velká fotovoltaika jsou už několik let nejlevnějším novým zdrojem elektřiny na evropském trhu. Trend navíc dál pokračuje. Mezinárodní energetická agentura (IEA) očekává, že náklady větrné elektřiny do roku 2030 klesnou o dalších 20–30 %. Pokles má dvě příčiny. Inovace i masovější produkce snižují výrobní náklady; nové technologie mezitím vylepšují účinnost elektráren.

Potenciál k výrobě energie z obnovitelných zdrojů má nesporně fyzické meze. Navíc řadu příležitostí nebude možné využít kvůli nákladům nebo péči o krajinu. Česko nicméně využívá jen malou část toho, co by realisticky využívat mohlo. Enormní technické možnosti fotovoltaických elektráren v Česku činí 207 TWh; větrné by papírově mohly dodávat 167–212 TWh (podle nastavení předpisů).³¹

Rozumné ekonomické možnosti jsou pochopitelně mnohonásobně nižší. Pro výrobu solární elektřiny činí podle pesimističtější rozvahy necelých 7000 MW.³² Rozvoj se soustřeďí na využití střech, brownfieldů nebo například ploch dotčených těžbou. Výhledově lze také mluvit o fotovoltaice na vodních plochách nebo v kombinaci se zemědělstvím (tzv. agrivoltaika), jak se již dnes prosazuje ve Francii, Polsku, Nizozemsku a jinde. Pro větrné

Obr. 5: Nové zdroje elektřiny v zemích EU v letech 2030–50 při osmi variantách uhlíkové neutrality, v porovnání s prognózou na roky 2016–30 a prognózou na 2030–50 bez nových opatření



Zdroj: Evropská komise 2018²¹

elektrárny Ústav fyziky atmosféry AV ČR propočtl dva scénáře – konzervativní a optimistický. Podle nich by do roku 2050 bylo možné v Česku realisticky postavit větrné elektrárny, které by dodávaly 6–19 TWh ročně.³³ Představuje to 8–26 % současné české spotřeby.

Nedostatkem solárních a větrných elektráren je nestálá výroba. Tuto komplikaci se postupně daří zmírňovat řízením sítě s automatickou koordinací tisíců větrných a milionů solárních zdrojů – elektrárny napříč Evropou se mohou vzájemně vykrývat. Nicméně koncepční řešení se neobejde bez ukládání elektřiny v chemických bateriích i pokročilých systémech tzv. sezónní akumulace (vodík a syntetická paliva). Technologické trendy také zde vytvářejí enormní nové příležitosti, především díky rychle klesající ceně baterií a digitálnímu řízení decentralizovaných soustav.

Při spalování biomasy vznikají emise oxidu uhličitého. Spalovaná rostlina však stejný uhlík předtím při fotosyntéze odebrala z atmosféry, takže se uzavírá cyklus. Emise tedy nezvyšují koncentraci skleníkových plynů v ovzduší. Proto nemalá část bioenergetiky tvoří víceméně nízkouhlíkový zdroj. Spalování biomasy lze rozšiřovat, zejména pak při výrobě tepla v domácnostech a obcích. Dobře designované pěstování rychle rostoucích dřevin nebo víceletých plodin rovněž pomůže s rozčleňováním polní krajiny, ochranou proti půdní erozi a obnovou biodiverzity. Nicméně potenciál bioenergetiky má také své meze (viz kapitola 4).

Evropská komise ve všech variantách klimatické neutrality počítá s jadernými reaktory.²¹ EU má nyní 122 GW jaderných elektráren. Výkon postupně klesá, takže do roku 2030 by činil 97 GW a – pokud by zůstalo u současných opatření – v polovině století asi 87 GW.³⁴ Scénáře klimatické neutrality počítají s tím, že se trend obrátí a výkon kolem roku 2050 bude činit v různých variantách 100–121 GW (viz Obr. 5).

Tabulka 1: Náklady nových elektrárenských technologií

Elektrárny	LCOE ^a (€/MWh ⁻¹)	Investiční náklady (tis. €/MW ⁻¹)
Fotovoltaické		
domácí	21–45 ^b	1500 ^e
komerční		1000 ^e
velké zdroje	≈46 ^c	< 700 ^e
Větrné pozemní	≈40 ^b	1 060–2 650 ^f
Jaderné	44–128 ^d	2900–8000 ^g 1600–5500 ^f 2200–10400 ^h 4300 ^h
CCGT (plynové)	77–85 ^b	550–1150 ^f

Poznámka:

a. Sdružená cena energie (LCOE) sčítá kapitálové (investiční) náklady s provozními (provoz a cena paliva) v celém životním cyklu elektrárny a dělí je očekávanou výrobou elektřiny. Metodika LCOE sleduje privátní kalkul, podle něhož se rozhodují investoři. Tudiž nezahrnuje další vyvolané, především tzv. systémové náklady, jež nese někdo jiný a které u variabilních zdrojů, například solárních či větrných elektráren, mohou zvýšit celkové náklady až o desítky procent (podle jejich podílu na výrobě elektřiny).

Prameny:

b. BloombergNET³⁵

c. Lazard 2019⁶⁶

d. MPO a MF 2015³⁶. LCOE platí pro variantu při 4–9% WACC a při financování státem na 60, 35, respektive 15 let. Při 5% WACC a financování státem 35 let se pohybuje kolem 58 €/MWh⁻¹.

e. Deloitte 2019³²

f. IEA 2015³⁷

g. EEIP 2020³⁸

h. Závodský 2020³⁹ na základě srovnání nákladů výstavby nových jaderných zdrojů ve světě. Náklady investora pro JE Temelín 3,4 se odhadují na 4 300 tis. €/MW⁻¹.

Hlavní bariérou ambicióznějšímu růstu jaderné energetiky jsou náklady. Racionálně uvažujícím firmám se nevyplatí fosilní paliva nahrazovat jadernými reaktory, pokud na trhu mohou ke stejnému účelu koupit podstatně levnější větrné a solární elektrárny (viz Tabulka 1). Náklady na financování mohou tvořit až dvě třetiny z ceny jaderných projektů. Stát může rozhodnout, zda – a případně jak – bude dílčí náklady různých technologií financovat či podporovat. Každé smysluplné řešení by mělo být ekonomicky racionální a podpořeno finanční úvahou.

Elektrifikace

Důležitým fenoménem klimatické neutrality bude rapidní elektrifikace.⁴⁰ Postupně posílí podíl elektřiny v odvětvích, kde prozatím převažují jiné zdroje energie: nejvíce se to týká osobních automobilů, vytápění a některých průmyslových procesů. K elektrifikaci přispívají

dva hlavní faktory. Je po ní poptávka, protože elektřina má podstatně větší možnosti výroby z nefosilních zdrojů než teplo či spalovací motory. Zároveň se rozšiřuje nabídka, neboť na trh postupně přicházejí technologie, jež dovolují aplikovat elektřinu na nových místech: levnější a lehčí baterie, tepelná čerpadla aj. Elektřina nyní dodává asi čtvrtinu energie v obytných budovách. Propočty Evropské komise ukazují, že kolem roku 2050 bude podíl činit zhruba polovinu až dvě třetiny.²¹ Elektrifikace by přirozeně nedávala smysl, pokud by ruku v ruce s ní nešlo postupně vyloučení fosilních paliv z výroby elektřiny.

Rozvoj elektromobilů (a další elektrifikace) vyvolá výrazné zvýšení spotřeby elektrické energie. Při třech milionech osobních elektrických aut by dodatečná poptávka po elektřině představovala 5,4 TWh ročně⁴¹, tj. ekvivalent sedmi procent současné české spotřeby. Elektrifikaci komplikuje, že ostatní zdroje energie nejsou zatíženy některými náklady, například na historické zavádění obnovitelných zdrojů nebo na kogeneraci (kombinovanou výrobu tepla a elektřiny). Rozpočítání plateb na všechny druhy energií by elektřině usnadnilo přístup do dalších sektorů.

Procesní emise a ukládání uhlíku

V některých energeticky náročných průmyslových odvětvích (metalurgie, cementárenství, některé sektory chemického průmyslu) je prakticky nemožné snížit emise na nulu. Často to nedovolují fyzikální procesy a chemické reakce, ve kterých výroba spočívá (tzv. procesní emise). Napomoci může rychlý vývoj cenově dostupných technologických inovací či elektrifikace průmyslu s použitím obnovitelných nebo jaderných zdrojů.

V principu lze emise zachytávat a ukládat pod zem. Na českém území jsou ale omezené možnosti geologického ukládání oxidu uhličitého, tzv. *carbon capture and storage* (CCS). Navíc je tato technologie prozatím příliš nákladná. Proto lze spíše spoléhat na postupy *carbon capture and utilization* (CCU), které zachycený uhlík používají jako surovinu. Mají ale menší reálný potenciál než CCS.

Renovace a výstavba budov

Budovy spotřebují přibližně 40 % konečné spotřeby energie v Česku a připadá na ně přibližně 35 % emisí oxidu uhličitého (37 milionů tun CO₂ v roce 2016).⁴² Asi dvě třetiny z toho se spotřebuje na vytápění. Postupně roste také podíl ohřevu teplé vody a chlazení. Snižovat emise lze správným provedením nových staveb (přes minimální regulační požadavky) nebo při renovacích (pomocí motivace k rychlejším a kvalitnějším renovacím).

Energetické standardy pro novostavby se u nás poprvé objevily v sedmdesátých letech. V pravidelných několikaletých intervalech se posilují, aby odpovídaly vývoji stavebních materiálů, technologií a postupů. Mezi lety 2016 a 2020 v Česku naběhl požadavek na výstavbu budov ve standardu tzv. s téměř nulovou spotřebou. Ten však svému jménu nedostává. Proto je navržena novelizace, která od roku 2022 standard dále zpřísní. Měla by zajistit, že roční spotřeba neobnovitelné primární energie nepřekročí zhruba 70 kWh na čtvereční metr podlahové plochy. Bude umožněn trade-off některých řešení: kvalita návrhu budovy, zateplení obálky budovy, účinnost technologií a využití místních obnovitelných zdrojů.

Renovace budov pak tvoří trojí typ opatření. První spočívají ve vylepšování tepelné izolace budovy: zateplení fasády, instalaci oken s izolačními trojskly, eliminaci tepelných mostů, instalaci stínících prvků proti letnímu přehřívání a podobně. Druhá ve zvyšování účinnosti technologií, včetně výměny zdroje tepla za efektivnější a regulace systémů

vytápění, chlazení, ohřevu teplé vody či větrání. Správně by druhý krok měl následovat až po prvním. Nejlepší projekty je samozřejmě kombinují. Třetím typem je pak využití místních obnovitelných zdrojů: fotovoltaických panelů, solárně–termálních kolektorů, tepelných čerpadel nebo využití biomasy v podobě dřeva či pelet.

V principu platí, že čím více renovací v daném roce, tím více energie se ušetří. Ale vysoké tempo renovací samo o sobě nestačí. Důležitá je důkladnost – tedy tzv. hloubka renovací. Rychlá, ale mělká renovace velkého počtu budov prakticky zablokuje část potenciálu úspor (protože se nevyplatí po krátké době dělat nové, hlubší renovace), a tudíž v budoucnu znamená zbytečně vysokou spotřebu energie. Opětovná, důkladnější modernizace již jednou renovovaných budov je přitom dražší a vytvoří méně úspor, takže klesne i nákladová efektivita. Státní politika by proto v příštích desetiletích měla vyváženě podporovat obojí: vyšší tempo i větší hloubku renovací. Proto je také důležité, aby stát stanovil dlouhodobé cíle modernizace domů. Nicméně je nutné počítat s tím, že i při dobré legislativě a ekonomické podpoře zhruba 5 % budov renovací nikdy neprojde z technických důvodů či nevůli vlastníka, dalších 5 % dosáhne jen mělké renovace (například kvůli ochraně památek), a 20–30 % fondu projde pouze středně hlubokou renovací.

Střední až hluboké renovace jsou ekonomicky výhodné také pro samotné vlastníky. Běžný výnos z investice činí 4 až 6 % p. a.⁴² Domácnosti a veřejné instituce (ale nikoli firmy) tedy jen těžko najdou lepší investice. Dobrá renovace zvýší hodnotu majetku i uživatelskou kvalitu, včetně zdravého vnitřního prostředí.

K vybuzení těchto investic postačuje ve většině segmentů budov státní podpora, která pokryje stejně jako v současných programech 25 až 40 % nákladů, v kombinaci s podporou kvalitní projektové přípravy a systematickou prezentací možností a přínosů kvalitních renovací. Podpora slouží k překonání nedostatku prostředků pro počáteční investici i nefinančních bariér, například nedostatku informací o možnostech a přínosu jednotlivých řešení. V neposlední řadě také poskytuje možnost vyžadovat hlubší renovace a zvyšuje jejich vymahatelnost.

Propočty potvrzují, že české emise oxidu uhličitého z provozu budov lze do poloviny století snížit o 27 až 52 %, respektive při nasazení solárních panelů na budovách o 43 až 87 % (viz Tabulka 2). Pokud by se zahrnula opatření mimo budovu, například přechod ze zemního plynu na bioplyn, dodávky elektřiny z obnovitelných zdrojů nebo přechod tepláren z fosilních paliv na čistší zdroje, snížení může být vyšší než 90 %. Kompletní využití reálného potenciálu úspor do roku 2050 by si vyžádalo každoročně renovovat 3 % budov a investovat celkem 1685 miliard korun – což je ekvivalent nákladů na nové budovy, které se v Česku postaví za sedm let.⁴³ Kolik z těchto příležitostí Česko využije, to samozřejmě závisí na rozhodnutí státu. Pro využití plného přínosu by bylo třeba úspory energie (tedy kombinaci tempa a hloubky renovací) zvýšit asi třikrát.

Tabulka 2: Reálné výsledky v různých variantách renovace budov

Míra renovací	Celkové investice do renovací v období 2020-2050^a	Úspora energie v budovách	Snížení emisí z provozu budov do roku 2050 (s rozvojem solárních panelů na budovách)
Současný trh. Státní programy pokračují ve stávající podobě, ale žádná opatření nepřibudou. Po třech dekáдах zůstane zhruba polovina českých budov nezrenovovaných.	757 miliard Kč	68 PJ (18 %)	16 Mt CO ₂ (43 %)
Počet renovací je víceméně stejný, stoupne ale jejich důkladnost (tzv. hluboké renovace). Nová státní opatření se zaměří hlavně na veřejné a komerční budovy.	957 miliard Kč	90 PJ (24 %)	19 Mt CO ₂ (53 %)
Po roce 2025 bude naprostá většina renovací hluboká. Mělké či střední renovace zůstanou jen tam, kde vyšší kvalita není možná technicky nebo kvůli památkové ochraně. Tempo stoupne asi na dvojnásobek, takže během tří dekád projde renovací asi 95 % budov.	1578 miliard Kč	160 PJ (43 %)	30 Mt CO ₂ (81 %)
Kompletní využití reálného potenciálu úspor. Každý rok se renovují 3 % českých budov, přičemž 85 % trhu tvoří hluboké renovace. Bez renovace také zde zůstane asi 5 % budov, přičemž dalších asi 5 % projde jen mírnou renovací.	1685 miliard Kč	163 PJ (44 %)	32 Mt CO ₂ (87 %)

Poznámky:

a. Náklady na fotovoltaiku nejsou zahrnuty. Dle scénáře rozvoje se pohybují na úrovni 10-22 mld. Kč ročně.

Pramen: Šance pro budovy 2020⁴²

Automobilová doprava

Přeprava zboží a osob je – vedle výroby elektřiny či tepla – druhým důležitým zdrojem českých emisí. Snižit je lze dvěma cestami: menší poptávkou po automobilové dopravě a vozidly s nižší uhlíkovou stopou.

Objem dopravy lze snižovat především promyšleným urbanistickým plánováním a řízením měst. Obchody umístěné do obytných čtvrtí namísto na periferii, cílené zklidňování dopravy v ulicích, pohodlná a bezpečná infrastruktura pro chodce nebo cyklisty či kvalitní veřejná doprava snižují závislost na cestách automobilem. Podstatných úspor lze dosáhnout také digitalizací a sdílením, lepší koordinací logistiky nebo sofistikovanější integrací automobilové dopravy s veřejnou. K přesunu dálkové dopravy zboží z kamionů do vlaků napomůže větší kapacita železnic a lepší napojení logistických center. Podobná opatření často mají i jiné důvody, ale pomohou rovněž regulovat spotřebu ropných paliv.

Nicméně mají také své meze. Evropská komise v propočtech, jak lze dosáhnout klimatické neutrality, očekává, že se objem osobní automobilové dopravy během příštích tří dekád prakticky nezmění; nákladní automobilová přeprava dokonce asi o polovinu stoupne. Rozhodujícím řešením proto bude postupný přechod na technologie s nižší uhlíkovou stopou. Průměrné emise nových osobních automobilů prodávaných na českém trhu mezi roky 2009 a 2018 klesly o 19 % (v posledním roce naopak poněkud stouply, protože omezování lokálních emisí oxidů dusíku ze starších vozidel se promítlo do menší poptávky také u novějších dieselových vozů, a tím stouply prodeje automobilů s mírně vyšší spotřebou). Rovněž poptávka po větších a těžších SUV relativně podporuje vyšší emise.

Ke snížení emisí (a to nejen skleníkových plynů) by mohla nezanedbatelně přispět pouhá obměna stávajících automobilů za novější. Česko patří k zemím s vysokým průměrným věkem vozidlového parku v EU, kolem 15 let. Na prodejích mají nadále vysoký podíl starší ojeté osobní nebo nákladní automobily a autobusy.

Možnosti nových technologií se rychle rozšiřují. Během uplynulého desetiletí velmi rychle klesaly výrobní náklady lithium–iontových baterií. Rozvoj elektromobility bude vyžadovat, aby Evropská unie snižovala závislost na dovozu bateriových buněk a klíčových surovin (především lithia a kobaltu). Velká část světové produkce nyní pochází z Číny nebo je pod kontrolou čínských firem.

Mají-li nové technologie přispět ke klimatické neutralitě, bude nezbytné zajistit, aby je poháněla elektřina vyráběná z nefosilních zdrojů, a aplikovat postup, jenž bude porovnávat klimatickou náročnost různých technologií v elektroenergetických mixech. Při analýze emisní stopy elektromobilů je potřeba vycházet z technologického a palivového mixu výroby elektrické energie, který bude platit za deset až patnáct let, nikoli z mixu současného. Průměrná emisní náročnost výroby elektřiny se nyní pohybuje kolem 540 gramů CO₂ na vyrobenou kWh, což při spotřebě 15 kWh na 100 kilometrů implikuje emise 81 gramů CO₂ na kilometr. Podle predikcí emisní intenzita kolem roku 2030 může být o třetinu nižší a dekádu nato až o 60 % nižší. V kombinaci s modernizací elektromobilů to povede k dalšímu snížení emisní stopy.

K uhlíkové neutralitě může přispět několik nových přístupů k pohonům. Čistě elektrická vozidla jsou technologicky zvládnutá, ale prozatím patří mezi nákladnější řešení a nejsou vhodná pro nákladní dopravu. Elektrická vozidla vyžadují, aby se česká síť nabíjecích stanic do poloviny dekády rozšířila ze současných 600 na nejméně 20 000, a také dostatek čisté energie z nefosilních zdrojů. Vodíkové články v elektrických vozech jsou vhodné především pro nákladní či autobusovou dopravu (rychlé čerpání, dojezd, užitečná hmotnost). Technologicky jde o funkční, ale málo rozšířené řešení. Vodíková čerpací stanice je v Česku

prozatím pouze jedna (Neratovice). Vodík se musí vyrábět z čisté energie, například hydrolýzou z vody přímo u elektrárny: dnes se až 90 % produkce vyrábí ze zemního plynu.

Třetí zvládnutou technologií jsou spalovací motory poháněné syntetickými palivy, která se vyrábějí zkapařováním atmosférického oxidu uhličitého s použitím nízkouhlíkové energie (vodík je prakticky syntetické palivo, které lze obohatit uhlíkem z CO₂, methanisovat na metan a používat jako CNG, nebo syntézou dále upravit na methanol či naftu). V Číně se 30 % pohonných hmot vyrábí synteticky u elektráren. Továrny na syntetické palivo lze přímo propojit s jadernými, větrnými či solárními elektrárnami a používat je namísto akumulace k využití přebytků výroby. Výhodou je rychlé řešení pro stávající vozový park, který v Česku čítá asi 6 milionů automobilů, a využití stávající distribuční sítě.

Nástup elektromobility byl v Česku prozatím pomalejší než ve srovnatelných zemích Evropy. Zvýšení podílu elektrických vozidel na trhu lze podpořit tím, že se budou pořizovací ceny přibližovat konvenčním vozům, provozní náklady se jim naopak budou vzdalovat a zejména poroste dojezd a stát podpoří dobíjecí infrastrukturu včetně domovních elektroinstalací. Státní politika s tím počítá. Plánuje, aby do konce dekády na českých silnicích jezdila necelá tisícovka vodíkových autobusů a mezi čtvrt až půl milionem elektromobilů (tj. asi šedesáti- až stovacetinásobně více než nyní). Pokud se to má stát, bude potřeba u těchto opatření výrazně posílit dynamiku a rozsah podpory. Pro dosažení uhlíkové neutrality jsou však důležitá také syntetická paliva. Představují řešení pro stávající vozový park, který patrně bude ještě nějakou dobu v provozu. V kombinaci s vodíkem jsou klíčovým řešením pro letectví, lodní dopravu nebo těžkou techniku.

Efektivnější využití materiálů

Evropská unie každý rok spotřebuje asi sedm miliard tun surovin. Bezmála polovina z toho připadá na nekovové minerály (stavební suroviny, sklo aj.), 22 % na fosilní paliva (včetně použití pro výrobu plastů či hnojiv) a 5 % na rudy; čtvrtinu tvoří biomasa. Při prvotním zpracování přírodních surovin se spotřebuje množství energie. S výrobou hmotného zboží pro evropské domácnosti jsou spojeny emise asi 1,5 miliardy tun CO_{2eq} ročně. Systematická recyklace především energeticky náročných kovů, skla, plastů a částí slinku by proto snížila emise z výroby o desítky procent.⁴⁴

Proto se evropské státy shodly, že jedním z klíčových řešení uhlíkové neutrality má být takzvaná cirkulární ekonomika. Jde o různé programy, které posilují efektivní nakládání s přírodními zdroji, uzavírají materiálové cykly a předcházejí plýtvání. Odpadní materiály se používají jako vstup do další výroby. V propočtech různých variant klimatické neutrality, které udělala Evropská komise, vychází jako nejlevnější právě ta, která se opírá o cirkulární ekonomiku. Kromě nižších emisí navíc také šetří přírodní zdroje, snižuje závislost na dovozu surovin, opakovaně využívá jejich ekonomickou hodnotu, vytváří domácí průmysl a nová pracovní místa.

Klíčové jsou stavebnictví, potravinářství, výroba vozidel a elektrických či elektronických zařízení. Emise v nich lze lepším cirkulováním materiálů snížit v rozmezí 13 až 66 % (podle odvětví a ambicí).⁴⁴ Některé členské státy už udělaly praktické kroky.⁴⁵ Nizozemsko má propracovaný plán, jak snížit používání primárních nerostných surovin (kovů, nerud, stavebních surovin a fosilních paliv) na polovinu do roku 2030. Francie chce během téže dekády snížit spotřebu primárních surovin na každé vyrobené euro HDP o 30 % a lepší recyklaci plastů každý rok uspořit 8 milionů tun CO₂. Česko ale prozatím využívá pouze necelých 8 % druhotných surovin, takže je zhruba na polovině evropského průměru.⁴⁶ Proto bude potřeba tuzemská opatření soustředit především na výše uvedená klíčová odvětví.

Stavebnictví: Na stavebnictví připadá 30–50% evropské spotřeby materiálů.⁴⁷ Recyklace stavebního a demoličního odpadu může podle úspěšné zkušenosti Rakouska nebo Švýcarska nahradit orientačně asi třetinu z nich. Výše se prozatím nedá jít. Řada stavebních aplikací totiž vyžaduje velmi kvalitní kamenivo z primárních zdrojů (vysokopevnostní betony, železniční svršek apod.). Hranice se však může posouvat nahoru díky inovacím ve zpracování recyklátu.⁴⁷

Studie věnující se měření komplexních environmentálních dopadů však na příkladech konkrétní praxe uvádějí, že při recyklaci stavebních materiálů jsou největší úspory emisí i dalších dopadů na životní prostředí dosahovány díky náhradě primárních surovin druhotnými a díky mnohem větší efektivitě nakládání s komunálním odpadem⁴⁸ v porovnání s klasickými systémy.

Ale nejde pouze o recyklaci. Snížit emise mohou také další opatření: více využívat stavební dříví (viz kapitola 6), předcházet plýtvání na stavbách, lépe využívat budovy nebo je – namísto demolice – přestavovat na nový účel. Pomůže také úsporný design, modularita stavebních prvků nebo zavádění takzvaných materiálových pasů pro budovy. Úspory emisí by pak mohly činit asi dvě pětiny.⁴⁸

Produkce potravin: Zhruba čtvrtina až třetina světové produkce potravin se vyplývá.⁹ V Česku se vyhodí 830 tisíc tun potravin ročně. Zbytečně tak vznikají emise při přepravě, průmyslovém zpracování a především přímo v zemědělství: intenzivní produkce potravinářských komodit a krmiv uvolňuje uhlík z půdy, vyžaduje syntetická hnojiva i fosilní paliva. Pouhým snížením plýtvání na polovinu se emise z potravinářství dají redukovat o 20–30 %.⁹ Přitom má řadu dalších přínosů. Posílí potravinovou soběstačnost, pomůže chránit ornou půdu a sníží tlak na důležité biotopy.

Ale i při dobrém využívání potravin vzniká a bude vznikat přebytečný organický materiál: na polích sláma a ve městech zbytky z produkce potravin, odpad z údržby zahrad a městské zeleně, kaly z čistíček odpadních vod. Organické materiály na skládkách tlí a produkují metan. Emise metanu ze skládek rok od roku rostou a v roce 2017 se vyšplhaly ke 150 tisícům tun. Lepší recyklace by snížila emise silného skleníkového plynu a umožnila vrátet živiny zpět do půdy nebo vyrábět energii, případně obojí. Dobrým příkladem je pohon městských autobusů bioplynem z čistírenských kalů.

Těžký průmysl: Emise z evropského těžkého průmyslu činí 530 milionů tun CO₂ ročně. Cirkulární ekonomikou je lze snížit o 296 milionů tun ročně, tedy o více než polovinu.⁴⁹ Úspory by stály na třech klíčových pilířích: recyklaci materiálů, efektivnějším využití materiálů ve výrobě a takzvaných cirkulárních obchodních modelech. Velký je potenciál pro recyklaci oceli, plastů a hliníku, která může pokrýt většinu evropské poptávky. Přitom například recyklace hliníku vyžaduje až o 95 % méně energie než výroba z přírodních surovin.

Recyklaci však stojí v cestě několik překážek. Známým příkladem jsou plasty. V Česku se reálně recykluje pouze necelých 35 % prodaných plastů. Příčinou jsou nejen nedostatečné kapacity recyklačního průmyslu, situace na trhu nebo nízké poplatky za skládkování, ale také samotná konstrukce výrobků: často se skládají z polymerních kompozitů, které recyklovat vůbec nelze. Až třetina současných plastových obalů se nedá recyklovat nebo znovu použít.⁴⁸

Vzorovým příkladem recyklovatelného materiálu je ocel. Lze ji recyklovat prakticky nekonečně, víceméně stoprocentně a bez ztráty kvality. Oproti výrobě z přírodní suroviny znamená úsporu až 75 % energie. Ne všechny kvality ocelí však lze vyrábět pouze ze šrotu; navíc ho globálně není dostatek. Proto se v Evropě musí i nadále počítat také s emisně náročnější výrobou oceli z rud. EU uvažuje o výrobě oceli pomocí vodíku (technologie se

testuje ve Švédsku), ale problémem jsou prozatím vysoké náklady, nepřipravené vodíkové zdroje a soustavy či vysoká spotřeba energie (na výrobu vodíku i na následné tavení).

Efektivnější výroba: Snížit ztráty materiálů lze také při výrobě. Polovina vyrobeného hliníku se nikdy nedostane do konečného produktu, ale stává se z ní šrot. Podobně ve stavebnictví ztráty činí 15 % materiálů. Recyklovatelnost odpadu se ovšem v různých odvětvích liší (například ocelový šrot z výroby se do ní opět vrací). Menšímu plýtvání také napomůže 3D tisk a on-demand výroba, která přesně reaguje na poptávku.

Cirkulární ekonomika vyžaduje propracovaný design výrobků (snadnější recyklovatelnost, modulární řešení aj.) a změnu prodejních modelů. Pokud by se podařilo na kosmetické a drogistické zboží namísto jednorázových zavést obaly na více použití, sníží se emise skleníkových plynů o 80–85 %. Rovněž je zapotřebí podporovat využití odpadních plynů či odpadního tepla z průmyslových procesů.

Obchodní modely: Velký prostor nabízejí také inovativní přístupy k výrobnímu cyklu. Renault už nyní snižuje emise na výrobu jednoho auta o 80 % tím, že repasuje komponenty ze starších vozů, namísto aby z primárních surovin vyráběl nové. Repasování také posiluje loajalitu zákazníků a šetří peníze jim i výrobcí. Podobnou příležitostí je rostoucí fenomén sdílené ekonomiky. Průměrné evropské auto tráví 98 % času zaparkované a průměrná kancelář je 60 % času prázdná. Lepší využití existujících aktiv může postupně snížit evropské emise o zhruba 60 milionů tun ročně. Česko se svým tradičním průmyslem a rostoucí silou digitálních odvětví i umělé inteligence má velký potenciál k využití nových trendů k posílení cirkulární ekonomiky.

Nové technologie

Plány klimatické neutrality počítají ponejvíce se současnými, funkčními technologiemi. V některých případech ovšem vyžadují dílčí inovace, které dovolí velkoplošnou aplikaci na trhu – například podmínkou masovější poptávky po elektromobilech je, aby nadále klesala cena baterií. Během příštích dekád se součástí řešení mohou – ale nemusí – stát také nové, vynořující se technologie: vodík, syntetické plyny, modulární reaktory aj. Stávající propočty k nim však přistupují konzervativně a kalkulují s nimi nanejvýš marginálně. Během příštích dekád se ukáže, které z těchto technologií jsou úspěšné a plošně aplikovatelné. Všechny varianty klimatické neutrality Evropské komise například počítají s aplikací vodíkových technologií, ale většinou pouze v jednotkách procent spotřeby energie. Dokonce i tzv. vodíková varianta předpokládá jen 16% podíl vodíku. Podobně ve variantě postavené na syntetických plynech tato paliva tvoří pouze 10 % spotřeby a polovina scénářů s nimi nepočítá vůbec.

Česko s ostatními unijními státy musí přitom rozumně rozhodnout o pravidlech a prioritách nových technologií. Prozatím se nejvíce vodíku vyrábí ze zemního plynu (tzv. šedý vodík). Podobně jako v případě elektromobilů platí, že vodík přispěje ke klimatické neutralitě, pokud se bude vyrábět elektrolýzou pomocí obnovitelných zdrojů energie či jaderných reaktorů (zelený vodík) nebo ze zemního plynu s CCS/CCU (modrý vodík). Zeleného a modrého vodíku však nemusí být dostatek a bude nákladnější než šedý.

6. Negativní emise

Uhlík lze také z atmosféry odčerpávat – zvyšovat množství uložené v zemi a vegetaci. Možnosti mají své meze a nelze na ně spoléhat. Mohou však být nezanedbatelnou součástí řešení.

Pěstování lesů

Pěstováním lesů lze z atmosféry odčerpávat uhlík, a tudíž kompenzovat emise. Globální odhady naznačují, že pokud vyřadíme především plochy, které se nyní používají k pěstování potravin, a nelesní ekosystémy s vysokou biodiverzitou (louky, stepi, savany aj.), lze realisticky umožnit přirozenou obnovu lesů na zhruba 3,5-6,8 milionech km². Mohla by pohlcovat asi 1,5-2,5 miliard tun uhlíku ročně⁵⁰, tj. ekvivalent asi 15-25 % současných světových emisí ze spalování fosilních paliv. S měnícím se klimatem se zalesnitelná plocha zmenší a to zejména v tropech, subtropích nebo sušších částech mírného pásma. Reálné pohlcování uhlíku v lesích tak spíše ubude.⁵¹ Nicméně jistý potenciál obnova lesů jako přírodě blízký způsob odčerpávání uhlíku nesporně má.

Lesy pokrývají 34 % Česka. Až do současné kůrovcové kalamity stromy na průměrném hektaru přímo vázaly asi 100 tun uhlíku a dalších 150–200 tun se nacházelo v lesní půdě. Celkem bylo v tuzemských lesích akumulováno kolem 750 milionů tun uhlíku⁵² – tedy ekvivalent emisí za zhruba 22 let. V případě půdy se ovšem jedná o zásobu, která se z větší části tvořila tisíce let. Biomasa stromů se hromadila v průměru 65 let.⁵³ Lesní půdy jsou tedy sice větším, ale pomalejším rezervoárem.

Národní emisní inventura (viz rámeček *Jak se měří neutralita?*) kalkuluje také vliv lesnictví na přibývání a ubývání uhlíku. Uložené množství v minulosti rostlo asi o 6 milionů tun ročně. Počínaje rokem 2017 ale přírůstek klesl na 1,6 milionu tun v lesních půdách a 0,8 milionů ve výrobcích ze dřeva (celkem tedy ekvivalent 1,9 % národních emisí). Příčinou je kůrovcová kalamita, která způsobila masivní těžby a tvorbu pasek. Protože nadále pokračuje, lesy namísto pohlcování budou přinejmenším ještě několik let uhlík do atmosféry přidávat.

V principu jde sázením stromů kompenzovat také část českých emisí. Pokud však nové stromy pouze nahrazují dosavadní les, k žádnému odčerpání nedochází. Proto opatření mají své meze a musí splnit několik praktických podmínek.

Především rozšiřování plochy lesů není a patrně nikdy nebude velké. V letech 1990–2017 bylo v průměru ročně zalesněno 2500 hektarů zemědělských pozemků. Každý rok tedy přibýly nové stromy, které mohou časem – až vyrostou – pohlcovat ekvivalent 0,7 % ročních emisí. Patrně také stoupne akumulace uhlíku v půdě. Větší expanze lesů by se ale nutně musela díť na úkor zemědělské půdy a/nebo míst s vysokou biologickou diverzitou.

Sázení stromů na místo pokácených pomáhá vyrovnávat bilanci mezi lesem a atmosférou. Pokud by ale mělo uhlík pohlcovat (a tudíž kompenzovat emise), musí se vytěžené dřevo použít na výrobky s velmi dlouhou trvanlivostí, například nábytek nebo ve stavebnictví. Z papíru či palivového dřeva se uhlík většinou vrátí do ovzduší během několika měsíců nebo let.

Proto jsou klíčové lesní půdy. Během růstu lesa se v nich hromadí vrstva humusu, ve které se nachází asi 20 % veškerého půdního uhlíku (zbytek je uložen v minerální půdě, často i tisíce let). Je ale poměrně labilní. Při stále obvyklé holosečné těžbě se většina humusu na osluněné vytěžené pasece opět rozloží, vznikne oxid uhličitý a putuje do atmosféry. Během zhruba deseti let, která tento proces trvá, hektaru lesa přijde o 20-40 tun uhlíku. Poté začne

vznikat nový humus. K akumulaci uhlíku v lesních půdách by bylo nezbytné tento cyklus zastavit: tedy pěstovat lesy s pestrou druhovou, věkovou a prostorovou strukturou (viz také kapitola 7).

Zemědělská půda

Pravděpodobně řádově větší příležitostí je ukládání uhlíku přímo v orné půdě. Výhodou oproti lesům (a nadzemní biomase obecně) je, že uhlík lze do půdy pohltit z hlediska lidského života prakticky natrvalo.

Syntetická hnojiva zajišťují dostatek minerálních živin, především dusíku a fosforu. Nevracejí však – na rozdíl od tradičního chlévského hnoje – do půdy organickou hmotu. Proto je jí v ornici nedostatek. Organická hmota má v půdách několikerou důležitou roli. Slouží jako pojivo, které stabilizuje půdní částičky, a brání tak erozi. Protože má poměrně velkou povrchovou plochu, vylepšuje schopnost půdy udržovat vodu. Coby zdroj uhlíku také podporuje důležitou půdní faunu, která zajišťuje recyklaci živin nebo přispívá k provzdušňování země.

Podpora organické hmoty je proto důležitá pro úrodnost půdy. Pomůže ovšem také absorbovat uhlík. Použít k tomu lze různá pěstební opatření. V principu jsou dvojího typu: mohou přidávat organickou hmotu do půdy, nebo ji chránit před rozkladem. Patří mezi ně větší používání statkových hnojiv nebo kompostů, ponechávání reziduí po sklizni na pozemku, pěstování krycích plodin, ochrana půdy před utužováním a erozí nebo méně intenzivní orba.

Bohužel chybí formální kvantifikace, která by prověřila možnosti ukládání uhlíku v české zemědělské půdě. Rozsah příležitostí ale naznačují dvě kalkulace. V tuzemských zemědělských pozemcích se nachází řádově střední stovky milionů tun organické hmoty. Pokud by se podařilo zvýšit množství organické hmoty jen v orné půdě o 1 %, mělo by jít o ekvivalent řádově 10 milionů tun oxidu uhličitého. Údaje o realistickém potenciálu ukládání uhlíku v evropských orných půdách činí asi 0,25-0,85 tun uhlíku na hektar a rok⁵⁴, což by v Česku odpovídalo jednotkám milionů tun CO₂.

7. Adaptační na změny klimatu

Česko musí připravit svoji ekonomiku, města i venkovskou krajinu na to, že globální průměrná teplota v příštích dekádách stoupne přinejmenším na hranici 1,5 °C, popřípadě 2 °C, oproti úrovni před průmyslovou revolucí. Potřebujeme se tedy adaptovat. Nové klimatické podmínky budou nezanedbatelně odlišné od současných. Pro ilustraci: rozdíl mezi současností a vrcholem poslední doby ledové činí asi mínus 5–9 °C. Dva stupně jsou tudíž menší, ale i tak dosti výrazná změna. Pokud by potřebné snižování emisí neproběhlo v podstatné části světové ekonomiky, růst teploty bude ještě vyšší.

Nové klimatické poměry se promítnou na mnoha, často nečekaných místech. Energetické společnosti kupříkladu musí počítat s nižšími průtoky v řekách, které používají ke chlazení elektráren. Patrně nejdůležitější však bude adaptační čtyř klíčových sektorů: zemědělství, lesnictví, vodního hospodářství a měst.

Zemědělství

K adaptaci zemědělství na měnící se klima je nezbytných několik typů opatření. Řada z nich se prakticky překrývá s intervencemi, které napomohou ukládání uhlíku v půdě (viz kapitola 6), chrání půdy před erozí a podporují biologickou diverzitu. Reforma zemědělství a péče o krajinu je proto vedle klimatické neutrality druhým klíčovým bodem unijní Zelené dohody.

Především bude nezbytné přímo přizpůsobit pěstební a chovné technologie: šlechtění suchovzdorných a mrazuvzdorných odrůd u řady významných plodin, včetně ječmene, kukuřice, pšenice či vinné révy; diverzifikace plodin; zavádění a lepší efektivnost infrastruktury pro zavlažování, především závlahy a mikrozávlahy pro zelinářství, ovocnářství a vinařství s doplňující funkcí protimrazové ochrany v jarním období; budování větrání, chlazení a stínění ve stájích kvůli rostoucímu počtu letních a tropických dnů. Konkrétní opatření se přirozeně liší podle plodiny, místních podmínek a charakteru farmy.

Na farmách také pomůže lepší retence vody přímo v půdě. Klíčová jsou proto opatření, která zvýší obsah organické hmoty (viz kapitola 6). Lze také snižovat evapotranspiraci a chránit pozemky před vodní či větrnou erozí. Mezi praktické možnosti patří správný výběr plodin na svažitéjších parcelách, pásové pěstování, seti po vrstevnici, bezorebné seti, mulčování, letní i ozimé mezplodiny nebo krajinné prvky, jež zpomalují stékání dešťové vody nebo snižují energii větru: meze a remízky, příkopy, průlehy a zasakovací pásy, zatravnění údolnic, vhodně designované polní cesty, větrolamy nebo agrolesnické systémy aj. Kromě retence vody v půdě lze podporovat také její obecnější zadržování v krajině (viz část *Vodní hospodářství* níže).

Sebeúčinnější opatření ovšem neodstraní škody. Proto je nutný management rizik. Stát může motivovat farmáře, aby využívali zemědělské pojištění, a pojišťovny k poskytování tohoto pojištění, popřípadě zřídit fond těžko pojistitelných rizik se zaměřením na sucho a srážky v době sklizně.

Lesnictví

V přirozených podmínkách by asi 11 % českých lesů tvořily smrky a 3 % borovice. Podíl buku a dubu by činil 40 %, respektive 19 %. Přírodnímu složení odpovídají i takzvané lesní vegetační stupně (viz Obr. 6). Reflektují především půdní a klimatické podmínky. V nižších stupních rostou převážně listnáče, zatímco ve vyšších ponejvíce smíšené lesy. Smrk totiž k

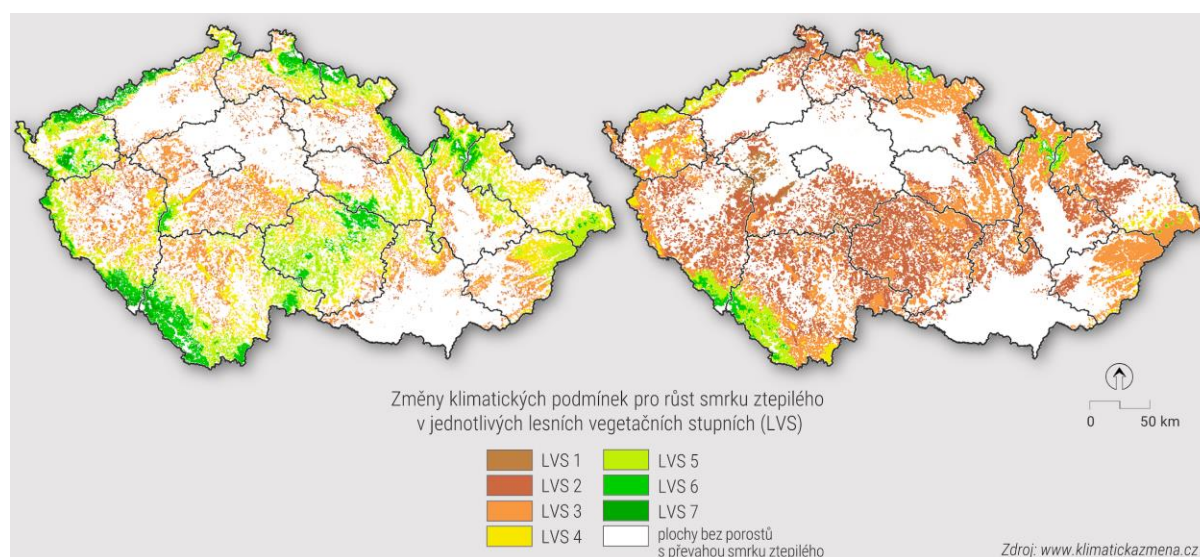
růstu potřebuje nižší teploty a vyšší srážky (tedy vysoké nadmořské výšky). Sušší a teplejší polohy vyhovují listnáčům (hlavně dubu a buku).

Současné poměry jsou ale obrácené. Převládají smrkové (50 %) a borové (16 %) porosty. Převážně jde o monokultury stromů stejného věku a podobné velikosti. Buky a duby tvoří dohromady pouhých 16 % lesa.⁵³ Majitelé lesů totiž v minulosti preferovali technicky a cenově výhodnější smrkové a borové dříví.

Současný model fungoval zhruba od konce 18. století. Nyní ale narazil na své meze. Svědčí o tom obrovská kůrovcová kalamita. Přispělo k ní vyčerpání živin v lesních půdách pěstováním jehličnanů a především změny klimatu. Smrkovým monokulturám hlavně ve středních polohách, kde přirozeně rostly převážně buky, nevyhovují vyšší teploty a období sucha. Postupně přibývá míst, kde horský smrk není schopen růst, takže oslabuje a snadno podléhá kůrovci. Po roce 2016 odumřelo zhruba 400 tisíc hektarů smrčín, tedy 15 % veškerých českých lesů. S postupujícím růstem globální průměrné teploty k cílovým +2 °C se tato plocha bude dál zvětšovat. Během příštích tří desetiletí se lesní vegetační stupně posunou nahoru (viz Obr. 6).

Proto je nutné nové lesy pěstovat převážně listnaté. V nižších polohách hlavní dřevinou musí být duby, ve středních a vyšších buky. Pěstování smrku se musí omezit na vyšší horské polohy. Z jehličnanů je vhodné více pěstovat jedli, která přirozeně tvořila asi 10 % lesů, hlavně ve středních polohách. Sušší a teplejší klima snáší lépe než smrk. Očekávanou změnu bude asi lépe snášet také modřín. Na většině území asi není původní, ale to by nemělo být na překážku jeho pěstování v pestrých směsích s jinými stromy. Pěstování exotických dřevin nyní určitě nelze doporučit. Návrhy na zavádění zejména severoamerické douglasky tisolisté motivuje obava z budoucího nedostatku smrkového dříví, které je technicky podobné. Kvůli ekologickým rizikům masivního pěstování exotů (neznámé patogeny, potlačení místní biodiverzity) by přednost měly dostat především evropské druhy dřevin.

Obr. 6: Lesní vegetační stupně v Česku podle průměrného klimatu v období 1981–2010 a 2041–2060 při udržení růstu teplot na hranici ≈ 2 °C (emisní scénář RCP4.5)



Zdroj: CzechGlobe – Ústav výzkumu globální změny AV ČR ve spolupráci s Mendelovou univerzitou

Nutné a pro adaptaci lesů pravděpodobně i stejně důležité je také změnit prostorovou a věkovou skladbu lesa. Pěstování musí ustoupit od labilních stejnověkových monokultur. V lesích, které budou odolné a současně zachovají hospodářskou produkci, se musí střídat stromy různých druhů i různého věku. Modelem pro budoucnost je druhově smíšený les, ve kterém se hospodářství tzv. nepasečně – dřevo se těží po menších skupinkách stromů a namísto umělé výsadby nové semenáčky rostou z přirozeného zmlazení pod krytem starších stromů. Při těžbě tedy nevznikají holiny. Les tak nikdy nepříjde do stádia, kdy se na pasece rozkládá humus a rychle uvolňuje velké množství oxidu uhličitého (viz kapitola 6). Les je různověký a má trvalou produkci dřeva, protože se stromy do mýtního věku dostávají postupně.

V současnosti ale nesmíšené nebo jen jednotlivě smíšené porosty tvoří 80 % českých lesů. Přírodě blízkým způsobem se hospodářství jen na 10 %.⁵³ Stát by proto měl uvážit, že legislativními změnami bude vyžadovat přechod na přírodě blízké, nepasečné hospodaření a pěstování listnatých nebo smíšených porostů.

Vodní hospodaření

Vyšší průměrná teplota proměny také srážkové poměry. Musíme počítat s méně vyrovnaným průběhem srážek. Periody sucha budou delší, nedostatek vody běžnější a přívalové deště častější. Proto potřebujeme přizpůsobit regulaci vody v krajině.

Česko musí především napravit desítky let systematického odvodňování krajiny. Stát potřebuje najít účinné řešení, jak řádově urychlit revitalizaci vodních toků. Prodlužování řek či potoků, obnova meandrů či přírodních koryt a protipovodňové hráze odsazené od toku napomohou, aby voda pomaleji odtékala. Na vhodných místech postačí využít platné legislativy, ponechat volný průběh přirozené obnovy toku a neopravovat vodou pobožené regulace. Pro ochranu před povodněmi je nicméně důležité, aby stát také cíleně vybral místa v říčních a potočních nivách, kde vytvoří plochy k bezpečným rozlivům vody. Klíčovou překážkou je nyní pomalá příprava projektů kvůli extrémně komplikovaným majetkovým vztahům. Proto bude nezbytné, aby stát postavil revitalizace a přirozené rozlivy na roveň dálnicím nebo vysokorychlostním železnicím a legislativou umožnil používat podobné postupy jako u liniových staveb.

Asi 25 % české zemědělské půdy bylo v minulosti uměle plošně odvodněno.⁵⁵ Meliorační soustavy postupně dožívají. Na řadě míst je potřeba je opravit; na dobře zvolených místech má ale smysl je vyřadit z činnosti nebo snížit odtok. Pro zadržování vody a podporu malého vodního cyklu bude nutné v zemědělské i lesní krajině také systematicky, plošně vytvářet drobné mokřady: stálé či periodické tůně, ramena toků, mokřiny, prameniště či mokřadní louky, lužní lesíky a podobně. Rovněž obnova rozptýlené zeleně nebo zasakovací plochy v polích pozdrží odtok vody. K retenci mohou místy napomoci nové rybníky a podobné menší nádrže. Přínos je ovšem potřeba brát poněkud s rezervou. Rozsáhlejší hladina v horkém počasí vykazuje vysoký odpar; navíc chov ryb neumožňuje, aby voda z rybníka v době sucha sloužila k doplňování toku.

Lepší retence však nestačí. V některých částech republiky lze i při sebelepší vůli očekávat nedostatek vody k odběrům. Proto jsou nezbytné cílené investice do infrastruktury. Patří mezi ně propojování vodovodů a vodárenských soustav, podpora infiltrace podzemní vody či nové nádrže. Nutná je také ochrana stávajících lokálních zdrojů. Často je nelze využít kvůli vysoké kontaminaci zejména agrochemikáliemi (dusičnany a fosfor z hnojiv, pesticidy). Přitom by mohly posilovat odolnost vůči změnám klimatu, protože v případě havárií či živelných

katastrof zajišťují náhradu za velké vodárenské soustavy. Proto by stát měl přijmout účinná opatření, která sníží plošnou kontaminaci podzemních a povrchových vod.

Přístup státu byl prozatím pozitivně pasivní: vyčlenil finance a nabízí je obcím, vlastníkům či spolkům, které chtějí potřebná opatření udělat. Vznikly tak stovky přínosných projektů. Nicméně výsledky ukazují také meze takového řešení. Evidentně nepostačuje k systematické proměně krajiny, která je pro lepší retenci vody nezbytná. Když agrární dotace umožnily vytvoření drobných krajinných mokřadů, během let 2015–18 tuto příležitost využilo pouze osm českých farem.⁵⁶ Proto bude nezbytné, aby stát postupně přešel na proaktivní přístup. Měl by uvážit, že explicitně stanoví pružné, ale pevné standardy, bude trvat na jejich naplňování a podpoří je financemi.

Města

Pro každodenní život Čechů a Češek bude klíčová adaptace obcí a hlavně měst. Klimatické podmínky v nich se podstatně promění, i když se podaří růst teplot udržet na čáře 2 °C. Struktura a design města přitom mají velký vliv hlavně na intenzitu dopadů.

Častější vlny veder přinesou vyšší úmrtnost – především mezi seniory – i větší tlak na zdravotní služby, horší kvalitu života a nižší produktivitu práce. Budou také zvyšovat spotřebu energie k chlazení, komplikovat provoz dopravní infrastruktury a sítí. V městské zástavbě se projevuje tzv. městský tepelný ostrov (*urban heat island: UHI*), což znamená, že průměrná teplota ve městech je podstatně vyšší než v okolní krajině.

Česká města mají poměrně málo vegetace, která by pomáhala UHI mírnit. Vegetace chladí vzduch stínem i vyšší evapotranspirací (výparem). Zelené a vodní plochy tvoří více než 30 % výměry jen v pětině tuzemských velkých měst.⁵⁷ Přitom ve skandinávských zemích jsou to všechna města, v Polsku šest z deseti. Na druhou stranu česká města patří mezi nejlepší v Evropě v dostupnosti zeleně, protože v nich bývá poměrně rovnoměrně rozmístěna. Jen necelá 2 % Pražanů to mají k nejbližší veřejné zeleni více než 10 minut pěšky.⁵⁸

Samosprávy budou muset cíleně utvářet komplexní, hustý městský biotop, který vylepší kvalitu každodenního života. Měl by zajišťovat stín a propustné povrchy. V českých městech by mělo přibývat zeleně. Plánování musí také nadále dbát na její rovnoměrné rozmístění, a to i uvnitř zástavby. Větší souvislé nepropustné plochy je potřeba rozdělovat. Mělo by přibývat parků, parčíků i stromů, které poskytnou zastínění v ulicích, na náměstích, mezi budovami, nad zastávkami MHD a dětskými hřišti. Na vhodných místech by se měly objevovat také polopřírodní mokřady k ukládání dešťové vody, renaturalizované říční břehy či kvetoucí trávníky s lučními druhy adaptovanými na sušší podmínky. Napomůže rovněž hustá síť drobných prvků: pítek, malých nádrží, drobných zelených plošek, vegetačních zdí, ozeleněných tramvajových kolejíšť a podobně.

Města musí lépe hospodařit s dešťovou vodou ve veřejném prostoru a vyčištěnou odpadní, tzv. šedou vodou v budovách. Velká většina srážkové vody by se měla používat k zasakování do zelených ploch či pásů, a tím vylepšovat kondici městské zeleně pro časy sucha. Suché trávníky k ochraně před tepelným ostrovem slouží podstatně slaběji než zelené. Budovy by měly málo znečištěnou šedou vodu (z umyvadel, koupelen apod.) přečišťovat, nejlépe v kořenové čistírně, a recyklovat například na zalévání zeleně. Lze ji také používat ke splachování, praní nebo úklidu. Spotřebu pitné vody tak jde snížit až o 40 %.

Lidé tráví 90 % času v budovách. Změny klimatu se dotýkají také vnitřního prostředí. Vlny veder vedou k jeho přehřívání, což má vliv na produktivitu práce i kvalitu spánku. Příležitost pro adaptaci budov představují komplexní renovace budov (viz část *Renovace a*

výstavba budov). Dobře zateplenými stěnami proniká v zimě méně tepla ven, ale také v létě naopak dovnitř. Potřeba chlazení se dá účinně snížit instalací vnějšího stínění. Vegetační střechy nebo fasády působí příznivě na mikroklima v okolí budovy. Snižují tedy efekt UHI, nejlépe v kombinaci se správnou volbou materiálů a povrchů. Vegetační střechy a fasády by se měly stát normou českých měst, a to nejen na vyšších obytných domech nebo komerčních budovách, ale také na halách na periferiích.

Renovace budov a místní mikroenergetika – solární systémy na střechách a fasádách, lokální chytré sítě, chlazení kombinací fotovoltaických zdrojů s tepelnými čerpadly a další – sníží zátěž sítí v extrémních podmínkách. Pomohou tedy adaptaci měst a posílí odolnost především vůči vlnám veder.

Častější a silnější velké povodně je nutné zvládat především péčí o krajinu v povodích, odkud řeky směřují do měst (viz část *Vodní hospodářství*). Územní plánování měst však musí cíleně směřovat výstavbu mimo riziková území. Města také mohou renaturalizací cílevědomě posilovat kapacitu říčních koryt a podél nich vytvářet zelené plochy.

Stejně důležité je také zvládání častějších přívalových dešťů, které přetěžují kanalizaci. Nepropustné povrchy tvoří více než polovinu výměry asi v 70 % velkých českých měst – jsme na dvanáctém místě mezi státy EU. Přitom ve skandinávských státech či Slovinsku taková města prakticky nejsou.⁵⁷ Kromě větší plochy zeleně (viz výše) pomohou také drobné intervence. Redesign zelených ploch, chodníků a podobně dovolí odvádět a zadržovat část vody, takže ulehčí kanalizaci.

8. Politická opatření

Bezmála veškerá mitigační rozhodnutí nutně musí udělat soukromé podniky či domácnosti. Jak je k nim stát může motivovat? Měl by počítat s několika typy opatření.

Koncepce

Formální strategie, koncepce a plány slouží hlavně jako interní rozvaha státu. Pomohou především exekutivě, aby si utřídila své cíle a chystaný postup. Například středobodem britské národní politiky byl zákon Climate Change Act z roku 2009, který explicitně stanovil tempo a milníky, jimiž snižování emisí postupuje. Nicméně koncepční dokumenty nemají prakticky žádný přímý vliv na rozhodování podniků a domácností. Proto by se stát měl soustředit hlavně na přímé intervence, jež účinně motivují ke snižování emisí nebo stanoví regulatorní mantinely.

Bariérou účinných řešení prozatím byla slabá spolupráce (a často i soupeření) resortů. Panují také rozpory mezi koncepcemi, které sice formálně schválila vláda, ale sestavila je (a za své je berou) převážně jen dílčí ministerstva. Státní exekutiva se patrně potřebuje shodnout na sdílených – nikoli jen formálně schválených – explicitních cílech, k nimž budou ministerstva společně postupovat, koordinovat se a dělit si úkoly.

Cena uhlíku

Klíčovou komponentou je kredibilní cena uhlíku.⁵⁹ Emise skleníkových plynů jsou exemplární externalitou: podniky a domácnosti používají fosilní paliva a vznikající náklady přesouvají na společnost. Stát proto potřebuje najít cestu, jak je internalizovat do tržní ceny paliv a potažmo komodit. Na trhu tak motivuje k výběru řešení s nižší uhlíkovou náročností.⁶⁰

EU jako hlavní instrument ceny uhlíku používá systém obchodování s emisemi (EU ETS). Zahrnuje sektory, na které nyní připadá zhruba polovina českých emisí skleníkových plynů. Postupným snižováním emisní kvóty (počtu vydaných povolenek) může účinně regulovat vypouštěné emise. Zákon nabídky a poptávky přitom zajišťuje, že se snižují nejlevnějším možným způsobem. Obdobně lze používat model ekologické daňové reformy, kde stát na emise uvalí uhlíkovou daň a adekvátně sníží jiný daňový výnos stejné velikosti.

Nějaký mechanismus ceny uhlíku by se měl vztahovat na co nejvíce sektorů, aby se vyrovnaly podmínky. Především se to týká domácího vytápění a dopravy. Není například efektivní, pokud teplárna platí za své emise, ale domácnosti, které se rozhodnou od ní odpojit a pořídí si vlastní vytápění fosilními palivy, platit nemusí. Protože se cena uhlíku dotýká plošně celé ekonomiky, při zavádění jakékoli formy stát musí propracovat dílčí parametry tak, aby předešel vysokým nákladům pro firmy či rodiny nebo aby nerostly nerovnosti.

Hraniční daň z uhlíku

Evropská komise navrhla, aby EU uvalila tzv. hraniční daň z uhlíku (BTAM) na zboží ze zemí, jež kredibilní cenu uhlíku nemají. Vyrovnaly by se tak podmínky pro domácí výrobce, kteří by už nebyli znevýhodněni náklady na nákup emisních povolenek. Není přitom nezbytné, aby se vztahovala na veškerý import z těchto států: patrně stačí ji zaměřit na uhlíkově náročné komodity, jako jsou produkty metalurgického či chemického průmyslu,

cement a některé další. Česko by mělo propracovat svoji pozici k tomuto návrhu – včetně jeho přínosů a rizik – s důrazem na dopady na domácí výrobce.

Cílená opatření

V některých případech ale cena uhlíku potřebuje doplnit dalšími intervencemi. Důvody bývají různé. Náročnější, pomalejší inovace se vzdálenějšími aplikacemi mohou vyžadovat cílené investice do technologického výzkumu a vývoje.⁶¹ V zemědělství či lesnictví je obtížné kontrolovat přesná množství emitovaného uhlíku. Při energetické renovaci budov hlavní bariérou není slabá motivace (tedy nízká cena fosilních paliv), nýbrž nedostatek investičního kapitálu v domácnostech nebo rozdílné zájmy vlastníků pronajímaných bytů a jejich nájemníků. Proto v takových případech dává smysl používat jiné řešení. Patří mezi ně regulatorní či kvaziregulatorní standardy (například emisní limity pro automobily, pravidla lesního zákona, podmínky dotací v zemědělství) nebo cílené podpory (programy jako Nová zelená úsporám). Případně zákonodárci mohou pro konkrétní technologie vytvořit předvídatelnou a transparentní cestu na trh, například aukcemi na výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů a podobnými programy.⁶²

Státy EU se shodly, že do klimatické neutrality či do adaptace zemědělství a dalších sektorů na změny klimatu investují 30 % nového unijního rozpočtu. K dispozici budou i nadále evropské fondy, financování z výnosů ETS, prostředky určené na oživení ekonomiky po karanténě, nový Modernizační fond a také Fond spravedlivé transformace určený k obnově uhelných revírů. Stát by mohl uvážit, zda připravit ucelený plán přechodu na uhlíkovou neutralitu, jehož součástí budou priority i postup financování. Dává také smysl do cílených programů, jako je energetická renovace budov nebo adaptace choulostivých odvětví a regionů, investovat výnosy z uhlíkové daně, hraniční daně z uhlíku aj.

Adaptační opatření

Adaptační opatření budou muset z velké části financovat veřejné rozpočty. Řada z těchto opatření přímo proběhne na veřejném majetku: vodních tocích, městských pozemcích a podobně. Nicméně ani soukromí vlastníci lesů, zemědělci nebo domácnosti se patrně neobejdou bez pomoci. Je pravděpodobné, že stávající model, kdy stát případným zájemcům pouze nabízí možnost čerpat dotace, nebude stačit. Bude nutné, aby v některých případech obcím, majitelům půdy nebo budov stanovil explicitní standardy, které zajistí plošné zavádění potřebných opatření, a na jejich plnění finančně přispěl. Příkladem takového řešení jsou některé platné podmínky agrárních subvencí nebo uvažovaná povinnost recyklace vody při stavbě nových domů.

Makroekonomické prostředí

Důležité je také napříč ekonomikou vytvářet příznivé prostředí pro nízkouhlíkové inovace a investice i pro adaptaci podniků a sektorů na měnící se klima. Proto se důležitou součástí řešení stávají makroekonomické intervence, například cílená politika centrálních bank^{63 64} nebo vytváření podmínek pro rizikový kapitál⁶⁵. Důležitá jsou také transparentní kritéria. Klíčová tudíž bude nová unijní klasifikace (tzv. taxonomie) čistých zdrojů, která poslouží jako vodítko pro investice z veřejných i soukromých prostředků.

Poradenství a informace

Samotná motivace nebo regulace často nepostačují. Především domácnosti, obce nebo zemědělci často nevědí, jak mohou nebo by měli postupovat. Stát by měl ve vybraných oborech garantovat a rozvíjet veřejné poradenství, které pomůže s výběrem a zaváděním potřebných opatření, včetně podpory při přípravě projektů. Půjde především o renovace budov, municipální projekty nebo opatření na farmách.

Dále bude potřebné rozšířit nabídku informací zaměřených především na spotřebitele s cílem změnit jejich rozhodování. Spíše než o konvenční komunikační kampaně by mělo jít o propracované programy, které budou využívat nových poznatků behaviorální ekonomie či environmentální psychologie a postupně proměňovat sociální normy. Proto by stát měl posílit své vlastní kompetence a kapacitu v těchto oborech.

9. Doporučení pro politiku vědy, výzkumu a inovací

Příprava na klimatickou neutralitu bude nesporně také pro Česko důležitým tématem vědy, výzkumu a inovací v příštích letech a desetiletích. Stát by proto měl připravit priority VVI ve snižování emisí i adaptacích na měnící se klima. Komise pro klima při RVVI navrhuje:

Vybrat a financovat národní priority

Stát by měl vybrat omezený počet klíčových priorit, na které se politika VVI zaměří především. Neznamená to, že nebude podporovat žádný jiný výzkum. Cílevědomé investice však umožní vybudovat silnou českou pozici ve vybraných sektorech, oborech nebo technologiích. Národní priority by přitom měly vycházet z několika principů:

- **Kombinovat mitigační a adaptační rozměr:** Cíl udržet růst teplot na hranici 2 °C nutně vyžaduje mitigační i adaptační opatření. Proto by také národní politika VVI měla sledovat oba rozměry.
- **Hledat, v čem Česko může být unikátní:** Česko se v některých místech vymyká. Priority se na ně mohou zaměřit, a získat tak unikátní pozici. Například české zemědělské podniky jsou mimořádně velké: tuzemské farmy mají osminásobně větší průměrnou výměru, než kolik činí průměr EU. Patrně to komplikuje adaptaci krajiny na změny klimatu. Stát by se mohl pokusit proměnit tento deficit v přednost a investovat do různých rozměrů výzkumu (a v zemědělském sektoru podporovat poptávku) tak, aby se Česko stalo lídrem v adaptaci intenzivního zemědělství na změny klimatu (případně v kombinaci s podporou biodiverzity a ochranou půdy).
- **Provázat priority klimatického VVI s národními prioritami VVI:** Pokud se například národní politika VVI soustřeďuje na umělou inteligenci (AI), může stát cíleně investovat do silné pozice domácího výzkumu a firem v překryvech mezi AI a obnovitelnými zdroji energie.
- **Podporovat kompetence SHUV:** Sebelepší technologie sami o sobě nestačí k mitigaci změn klimatu ani adaptaci na ně. Je nezbytný také výzkum v sociálních vědách včetně ekonomie a interdisciplinárního bádání, který pomůže porozumět, jak české podniky a domácnosti motivovat ke změně spotřeby a životního stylu v proměňujícím se prostředí.
- **Podporovat synergická řešení:** Řada opatření přispěje nejen k řešení klimatické neutrality, ale také jiných důležitých výzev, před nimiž česká společnost stojí. Adaptace na změny klimatu často podporují rovněž obnovu biologické diverzity a přírodních prvků v krajině. Příprava uhelných revírů na útlum těžby zároveň pomůže čelit chudobě, sociálnímu vyloučení a nedostatku veřejných služeb, které tyto kraje sužují dlouhodobě. Řešení klimatické neutrality může podporovat anebo sťažovat plnění cílů v jiných oblastech, například v ochraně ovzduší. Politika VVI by měla cíleně vyhledávat a podporovat takové směry, které měřitelně a významně paralelně řeší také jiné výzvy.
- **Cílevědomě hledat exportní příležitosti:** Česko jako exportní ekonomika potřebuje nejen zajistit snížení vlastních emisí a svoji adaptaci na měnící se klima, ale také využít ekvivalentních opatření v jiných státech jako příležitosti pro vlastní průmysl. Politika VVI může takové možnosti vyhledávat a podporovat, včetně pilotních projektů. Může jít například o systémy pokročilé akumulace energie s produkcí syntetických paliv vyráběné s využitím zachycovaného CO₂, využití domácích zásob

lithia a dalších vzácných prvků zemin, vývoj, výzkum a podporu rozvoje chemické akumulace (například baterie využívající síru) nebo aplikace pokročilých solárních panelů.

- **Zajistit monitoring probíhajících změn:** Pro navrhování adaptačních opatření je klíčový dlouhodobý monitoring ekosystémů a porozumění změnám biotických i abiotických parametrů. Kromě rutinních klimatických měření by politika VVI měla podporovat studie zaměřené na vliv klimatické změny na složky ekosystémů nebo na život ve městech, včetně klimatického a biogeochemického modelování dlouhodobého vlivu podle různých scénářů klimatických změn.

Podporovat inovační ekosystém v privátním sektoru

Výzkum nepřekvapivě ukazuje, že v klimatických inovacích vedou země, kde je také silná domácí poptávka po technologiích. Podniky přirozeně investují do řešení, pro která najdou domácí trh. Pro úspěch českého VVI jsou proto důležitá také opatření diskutovaná v kapitole 8: účinná cena uhlíku, legislativní a jiné intervence, jež motivují k zavádění ambiciózních a originálních technologií.

Důležitým směrem, který rozhybe privátní inovace, je propojení s veřejným výzkumem. Stát může využít prostředky v Inovačním fondu k cílené podpoře nových startupů a spinoffů, které se zaměří na mitigační, popřípadě adaptační opatření. Program by mohl cíleně podněcovat akademický výzkum, akcelarovat spolupráci průmyslu s akademickým sektorem a dát šanci na uplatnění pilotním projektům, nejlépe ve spolupráci s městy, kraji či mikroregiony.

Podporovat aplikace

Ke snižování emisí ani adaptaci na měnící se klima nepostačuje pouze originální výzkum. Součástí každodenního života českých podniků a domácností se musí stávat také inovace, které již vznikly jinde. Důležitá je proto cílená podpora ambiciózních pilotních a demonstračních projektů. Klíčové priority by měl vybírat stát v dialogu s trhem, nikoli pouze pasivně financovat nabízené projekty. Politika VVI by také měla najít řešení, jak cíleně vyhledávat a do domácích podmínek uvádět především ta inovativní řešení, která pomohou připravit obory a regiony, jež potřebují zvláštní pozornost: automobilový a metalurgický průmysl, uhelné revíry, respektive adaptaci zemědělství, lesnictví, vodního hospodaření a měst.

Stavět rozhodování na výsledcích výzkumu (*evidence-based policy*)

Nutným předpokladem pro optimální rozhodování je dostatek informací o možných dopadech. Stát by měly výrazněji podporovat dopadové studie. Mohou být retrospektivní (ekonometrické), s cílem zjistit *ex post* účinnost jednotlivých nástrojů a opatření, i prospektivní, které kvantifikují *ex ante* dopady a predikovat trendy pomocí makroekonomických, optimalizačních a simulačních modelů. Měla by být vytvořena platforma a podporován networking pro efektivnější sdílení poznatků, včetně zajištění výměny informací a znalostí s klíčovými renomovanými vědeckými pracovišti ze zahraničí i mezi akademickým výzkumem a státní správou.

10. Prameny a poznámky

1. Rámcová úmluva OSN o změně klimatu:
https://www.mzp.cz/cz/ramcova_umluva_osn_zmena_klimatu.
2. Viz např.: NASA: *Is current warming natural?*:
<https://earthobservatory.nasa.gov/features/GlobalWarming/page4.php>; Cho, R., 2017. *How we know today's climate change is not natural*. Columbia University Earth Institute:
<https://blogs.ei.columbia.edu/2017/04/04/how-we-know-climate-change-is-not-natural/>; Hausfather, Z., 2017. *Analysis: why scientists think 100% of global warming is due to humans*. CarbonBrief:
<https://www.carbonbrief.org/analysis-why-scientists-think-100-of-global-warming-is-due-to-humans>
3. WMO: WMO confirms 2019 as the second hottest year on record:
<https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-2019-second-hottest-year-record>.
4. Pařížské dohoda k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu:
https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda.
5. ČHMÚ: Národní inventarizační systém,
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/nis/nis_ta_cz.html
6. du Pont, Y. R., et Meinshausen, M., 2018. Warming assessment of the bottom-up Paris Agreement emissions pledges. *Nature Communications* 9: 4810.
7. IPCC 2018: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
8. Evropská rada: *Závěry zasedání Evropské rady, 12. prosince 2019*:
<https://www.consilium.europa.eu/media/41773/12-euco-final-conclusions-cs.pdf>, čl. I., odst. 1. Polsko se zatím k tomuto cíli nedokázalo zavázat, což usnesení reflektuje.
9. IPCC, 2019. *IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*:
<https://www.ipcc.ch/srccl/>
10. Přesněji řečeno: tuna metanu během 100 let zadrží v atmosféře 34 krát více energie než tuna oxidu uhličitého. Standardizovaná jednotka musí pracovat s konkrétním časovým horizontem, protože různé plyny se kromě energetických vlastností liší také dobou rozpadu v atmosféře.
11. JRC: *Fossil CO2 and GHG emissions in all world countries: emissions database for global atmospheric research*: <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=booklet2019>.
12. Eurostat: *Emissions of greenhouse gases and air pollutants from final use of CPA08 products - input-output analysis*, ESA 2010 [env_ac_io10]
13. Tukker, A., Bulavskaya, T., Giljum, S., de Koning, A., Lutter, S., Simas, M., Stadler, K., Wood, R., 2014). *The global resource footprint of nations: carbon, water, land and materials embodied in trade and final consumption calculated with EXIOBASE 2.1*. Leiden/Delft/Vienna/Trondheim.
14. Viz například: JRC, cit. 11 nebo World Resources Institute: *Climate watch: historical GHG emissions*: <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>.
15. Energy and Climate Intelligence Unit: *Almost half of global GDP under actual or intended net zero emission targets*: www.eciu.net/news-and-events/press-releases/2020/almost-half-of-global-gdp-under-actual-or-intended-net-zero-emissions-targets
16. *Renewables 2019: global status report*. REN21 Secretariat, Paris 2019.

17. RHG: *Preliminary US emissions estimates for 2019*: <https://rhg.com/research/preliminary-us-emissions-2019/>
18. Odhad na základě multi-regionální environmentálně-rozšířené input-output analýzy: Mach, R., Weinzettel, J., Ščasný, M., 2018. Environmental impact of household consumption: Hybrid input-output analysis linked to household consumption data. *Ecological Economics* 149: 62-73.
19. Faktaoklimatu.cz: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emise-cr-detail>
20. Kvantifikováno optimalizačním modelem energetického systému TIMES: Rečka, L., Ščasný, M., 2016. *80% snížení emisí skleníkových plynů: analýza vývoje energetiky ČR do roku 2050*. Studie 21/2016, IDEA & CERGE-EI, Národohospodářský ústav AV ČR, Praha
21. *In-depth analysis in support of the Commission Communication COM(2018) 773: A clean planet for all: a European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*. Evropská komise, Brusel 2018.
22. S využitím modelu CGE NEWAGE: REEEM, 2019. *REEEM-D3.1a_Focus Report on economic impacts (Version 1)*. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.3368483.
23. Garcia-Casals, X., Ferroukhi, R., Parajuli, B., 2019. Measuring the socio-economic footprint of the energy transition. *Energy Transitions* 3: 105-118.
24. Model CGE GTAP-INT: Kompas, T., Pham, V. H., Che, T. N., 2018. The effects of climate change on GDP by country and the global economic gains from complying with the Paris Climate Accord. *Earth's Future* 6: 1153-1173.
25. Szewczyk, W., Feyen, L., Matei, A., Ciscar, J.C., Mulholland, E., Soria, A., 2020. *Economic analysis of selected climate impacts*, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
26. Chmelař, A., Marek, L., Korbel, V., Volčík, S., Ďurčová, R., Bláha, V., 2014. *Dopady zvýšení energetické účinnosti na českou ekonomiku: vyhodnocení na základě analýzy opatření Energetické strategie EU 2020*. Úřad vlády České republiky, Praha.
27. *Air quality in Europe — 2019 report*. European Environment Agency, Copenhagen 2019: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>
28. *Zpráva o životním prostředí České republiky v roce 2018*. MŽP, Praha 2019: https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2020/05/Zprava_o_ZP_CR_2018.pdf
29. Kiuiila, O., Markandya, A., Ščasny, M., 2019. Taxing air pollutants and carbon individually or jointly: results from a CGE model enriched by an emission abatement sector. *Economic System Research* 31: 21-43.
30. Kvantifikace modely TIMES a CGE pro Česko a integrovaným modelem WITCH pro Evropu. Ščasný, M., Massetti, E., Melichar, J., Carrara, S., 2015. Quantifying the ancillary benefits of the Representative Concentration Pathways on air quality in Europe. *Environmental & Resource Economics* 62: 383-415.
31. Ruiz, P., et al. 2019. ENSPRESO – an open, EU-28 wide, transparent and coherent database of wind, solar and biomass energy potentials. *Energy Strategy Reviews* 26: 100379.
32. *Rozvoj obnovitelných zdrojů do roku 2030: analýza zpracovaná pro Svaz moderní energetiky*. Deloitte, Praha 2019.
33. Hanslian, D., 2020. *Aktualizace potenciálu větrné energie v České republice z perspektivy roku 2020*. ÚFA AV ČR: http://web-ufa.ufa.cas.cz/DATA/vetrna-energie/Potencial_vetrne_energie_2020.pdf
34. Německo a Belgie cíleně uzavírají své elektrárny, starším reaktorům končí životnost a nové se nestaví.

35. BloombergNET: *Scale-up of solar and wind puts existing coal, gas at risk*: <https://about.bnef.com/blog/scale-up-of-solar-and-wind-puts-existing-coal-gas-at-risk/?sf121491850=1>.
36. *Národní akční plán rozvoje jaderné energetiky v České republice*. MPO-MF, Praha 2015.
37. *Projected costs of generating electricity. 2015 edition*. International Energy Agency, Paris 2015: <https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf>
38. *Závěrečná zpráva z hodnocení dopadů regulace (RIA) k návrhu zákona o opatřeních k přechodu České republiky k nízkouhlíkové energetice a o změně zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů*. EEIP, Praha 2020.
39. Závodský, P. 2020. *Nové jaderné zdroje ČR*: https://slideslive.com/38924185/nove-jaderne-zdroje-cr?fbclid=IwAR3r5X0mXF6vy81ub4mWv6gr7lt4olbg_6-M7qZqG0ujsW2V2I4d03lZaY4
40. Helm, D., Hepburn, C., 2019. The age of electricity. *Oxford Review of Economic Policy* 35: 183–196.
41. Za předpokladu 12 000 km průměrného náběhu 3 milionů bateriemi poháněných elektromobilů (BEV) za rok a spotřebě 15,1 kWh na 100 km, která je udávána pro novou Škodu Enyaq 80. Česko v roce 2018 vyvezlo 14 TWh elektrické energie, což odpovídá téměř 8 milionům BEV.
42. *Dlouhodobá strategie renovace budov v České republice, aktualizace květen 2020*. Šance pro budovy, Praha 2020.
43. Nové budovy, na něž byla v Česku vydána stavební povolení během roku 2018, mají mít orientační hodnotu 234 miliard korun. Zdroj: *Stavebnictví ČR 2019*. Ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha 2019: <https://www.mpo.cz/assets/cz/stavebnictvi-a-suroviny/informace-z-odvetvi/2019/11/Stavebnictvi-2019.pdf>
44. *Circular economy potential for climate change mitigation* Deloitte Sustainability, 2016.
45. Rizos, V., Elkerbout, M., Egenhofer, C. 2019. *Circular economy for climate neutrality: setting the priorities for the EU*. CEPS.
46. *Politika druhotných surovin České republiky, aktualizovaná verze*. Ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha 2019.
47. Herczeg, M., McKinnon, D., Milios, L., Bakas, I., Klaassens, E., Svatikova, K., Widerberg, O. 2014. *Resource efficiency in the building sector: final report*. European Commission DG Environment, Brussels.
48. *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. Ellen MacArthur Foundation, 2019.
49. Enkvist, P. A., Klevnäs, P., Teiwik, A., Jönsson, C., Klingvall, S., Hellberg, U., 2018. *The circular economy—a powerful force for climate mitigation: transformative innovation for prosperous and low-carbon industry*. Material Economics Sverige AB, Stockholm.
50. Cook-Patton, S. C., et al., 2020. Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth. *Nature* 585: 545-550.
51. Anderegg, W. R. L., et al., 2020. Climate-driven risks to the climate mitigation potential of forests. *Science* 368: eaaz7005.
52. Hruška, J., Oulehle, F., 2009. Lesy v globálním koloběhu uhlíku. Jak dalece jsou významným hráčem? *Vesmír* 88: 496-500.
53. *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018*. Ministerstvo zemědělství, Praha 2019: http://eagri.cz/public/web/file/640937/Zprava_o_stavu_lesa_2018.pdf
54. Jones, A., et al., 2013. *CAPRESE-SOIL: CARbon PREservation and SEquestration in agricultural soils. Options and implications for agricultural production*. Joint Research Centre, EU 26516.

55. Kulhavý, Z., a kol., 2011. *Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině pro podporu žadatelů o PBO v prioritních osách 1 a 6: podrobný rozbor problematiky*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.
56. *Výroční zpráva pro přímé platby za rok 2018*. Ministerstvo zemědělství, Praha 2019:
http://eagri.cz/public/web/file/643958/Vyrocní_zpráva_pro_prime_platby_za_rok_2018___final.pdf
57. *Urban adaptation to climate change in Europe: challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies*. European Environment Agency, Copenhagen 2012:
<https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change>
58. Poelman, H., 2018. *A walk to the park? Assessing access to green areas in Europe's cities: update using completed Copernicus Urban Atlas data*. Evropská komise, Brusel:
https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/work/2018_01_green_urban_area.pdf
59. Nordhaus, W., 2008. *A question of balance: weighing the options on global warming policies*. Yale University Press, New Haven & London.
60. Kennedy, K., et al., 2015. *Putting a price on carbon: a handbook for U. S. policymakers*. World Resources Institute, Washington D.C.
61. Hepburn, C., et al., 2018. Encouraging innovation that protects environmental systems: five policy proposals. *Review of Environmental Economics and Policy* 12: 154–169.
62. *Deploying renewables 2011: best and future policy practice*. International Energy Agency, Paris 2011.
63. Schoenmaker, N., 2019. *Greening monetary policy*. Bruegel, Brussels.
64. Bolton, P., Despres, M., Pereira da Silva, L. A., Samama, F., Svartzman, R., 2020. *The green swan: Central banking and financial stability in the age of climate change*. Bank for International Settlements.
65. *Sustainability transitions: policy and practice*. European Environment Agency, Copenhagen 2019.
66. Lazard: *Levelized cost of energy and levelized cost of storage 2019*:
<https://www.lazard.com/perspective/lcoe2019>