Inštitút environmentálnej politiky

Modelovanie klimatickej neutrality

Scenáre transformácie ekonomiky

November 2025

Ekonomická analýza 21

Inštitút environmentálnej politiky je nezávislý analytický útvar pri Ministerstve životného prostredia SR. Našim poslaním je poskytovať kvalitné a spoľahlivé analýzy a prognózy v oblasti životného prostredia pre slovenskú vládu a verejnosť.

Ministerstvo životného prostredia SR

Recenzné konanie
Analýza bola Odborno-metodickou komisiou schválená ako recenzovaná na základe posudkov od Andreja Havetu (IHA, MH SR), Jána Mykhalchyka Hradického (ÚHP MF SR) a Tomáša Miklošoviča (SAV)

Upozornenie
Materiál prezentuje názory autorov Inštitútu environmentálnej politiky (IEP), ktoré nemusia nutne odzrkadľovať oficiálne názory Ministerstva životného prostredia. Cieľom publikovania analýz je podnecovať a zlepšovať odbornú a verejnú diskusiu na aktuálne environmentálne témy. Citácie textu by preto mali odkazovať na IEP (a nie MŽP SR) ako autorov týchto názorov.

Poďakovanie
Naše poďakovanie patrí recenzentom, Andrejovi Havetovi (IHA, MH SR) Jánovi Mykhalchykovi Hradickému (ÚHP, MF SR) a Tomášovi Miklošovičovi (SAV), za vecné pripomienky. Ďalej za pomoc pri zbieraní dát, modelovaní a vypracovávaní tejto štúdie naše poďakovanie patrí:
Ivan Barka (NLC), Zuzana Došeková (IEP), Marek Engel (IEP), Anna Flessa (E3-Modelling), Kostas Fragkiadakis (E3-Modelling), Branislav Hindra (SEPS), Gabriela Chutňáková (IEP), Mário Juliny (IPP), Matúš Lacný (SEPS), Ivan Lichner (SAV), Kristína Mojzesová (IEP), Leonidas Paroussos (E3-Modelling), Ondrej Pastierik (SPU), Kristína Tonhauzer (SHMÚ), Veronika Tóth (IEP), Lucia Tóthová (IEP) a mnohým ďalším.

Autori
Dominik Hollý (IEP)
Marek Murin (IEP) marek.murin@enviro.gov.sk
Katarína Nánásiová (IEP)

iep

Obsah

OBSAH **3**

ZOZNAM BOXOV, GRAFOV SCHÉM A TABULIEK **5**

ZOZNAM SKRATIEK **11**

ZHRNUTIE **12**

1 PREČO DEKARBONIZOVAŤ? **18**

1.1 Úvod 18
1.2 Historické a súčasné emisie skleníkových plynov 20
1.3 Súčasný stav emisií skleníkových plynov 22
1.4 Ciele SR v energetike a dekarbonizácii 24

2 O MODELOCH **27**

2.1 Model CPS 27
2.2 Makroekonomický model GEM-E3-SK 33
2.3 Poľnohospodársky model 34
2.4 Model LULUCF 37

3 PREHĽAD SCENÁROV **39**

3.1 WEM 42
3.2 WAM 44
3.3 SWAM 47

4 ZÁKLADNÉ VÝSLEDKY **49**

4.1 Emisie skleníkových plynov 49
4.2 Podiel obnoviteľných zdrojov 53
4.2.1 Plnenie cieľov v oblasti OZE pre rok 2030 55
4.3 Energetická efektívnosť 56
4.3.1 Konečná energetická spotreba 56
4.3.2 Primárna energetická spotreba 58

5 SEKTOROVÉ VÝSLEDKY **60**

5.1 Výroba elektrickej energie a tepla 60
5.1.1 Súčasný stav 61
5.1.2 Výsledky modelovania 64
5.2 Priemysel 73
5.2.1 Súčasný stav 73
5.2.2 Výsledky modelovania 76
5.3 Doprava 79
5.3.1 Súčasný stav 79
5.3.2 Výsledky modelovania 81
5.4 Domácnosti 85
5.4.1 Súčasný stav 85
5.4.2 Výsledky modelovania 86
5.5 Služby 90
5.5.1 Súčasný stav 90
5.5.2 Výsledky modelovania 91
5.6 Poľnohospodárstvo 94
5.6.1 Emisie z neenergetických zdrojov v poľnohospodárstve 94
5.6.1.1 Súčasný stav 94
5.6.1.2 Výsledky modelovania 95
5.6.2 Využívanie palív v poľnohospodárstve 97
5.6.2.1 Súčasný stav 97
5.6.2.2 Výsledky modelovania 98

5.7 ODPADY 99
5.8 LULUCF 101
5.8.1 SÚČASNÝ STAV 101
5.8.2 VÝSLEDKY MODELOVANIA 102
5.9 UMELÉ ZÁCHYTY 103
5.10 EMISIE Z OSTATNÝCH KATEGÓRIÍ 106
5.10.1 SÚČASNÝ STAV 106
5.10.2 VÝSLEDKY MODELOVANIA 106
5.11 MAKROEKONOMICKÉ VÝSLEDKY 107
5.11.1 ŠTYRI VARIANTY VYUŽITIA FINANČNÝCH ZDROJOV 107
5.11.2 VÝSLEDKY MODELOVANIA 108

6 NÁKLADY IMPLEMENTÁCIE SCENÁRA WAM 114

6.1 NÁKLADY Z MODELU CPS 114
6.1.1 PRIEMYSEL 115
6.1.2 DOMÁCNOSTI 117
6.1.3 SLUŽBY 118
6.1.4 DOPRAVA 119
6.1.5 NÁKLADY VO VÝROBE A PREPRAVE ELEKTRINY A TEPLA 120
6.2 NÁKLADY NEENERGETICKÝCH SEKTOROV 121
6.2.1 LULUCF 121
6.2.2 POĽNOHOSPODÁRSTVO 122

7 PRÍLOHA 125

7.1 VÝSLEDKY SCENÁRA SWAM 125
8.1 ZOZNAM OPATRENÍ 128
8.2 ZOZNAM PREDPOKLADOV 135

BIBLIOGRAFIA 138

Zoznam boxov, grafov schém a tabuliek

Zoznam grafov a tabuliek v zhrnutí

Graf Z1: Emisie skleníkových plynov v roku 2022 (Graf 5 v texte analýzy) 12
Graf Z2: Emisie skleníkových plynov do roku 2050 (WEM, v Mt CO2 ekv.) (Graf 8 v texte analýzy) 13
Graf Z3: Emisie skleníkových plynov do roku 2050 v scenári WAM (v Mt CO2 ekv.) (Graf 10 v texte analýzy) 14
Graf Z4: Podiel obnoviteľných zdrojov energie (WAM, v %) (Graf 14 v texte analýzy) 14
Graf Z5: Konečná energetická spotreba podľa sektorov (WAM, v TWh) (Graf 16 v texte analýzy). 15
Graf Z6: Konečná energetická spotreba podľa palív (WAM, v TWh) (Graf 18 v texte analýzy) 15
Graf Z7: Výška dodatočných investícií scenára WAM v dopytových sektoroch (Graf 166 v texte analýzy) 16
Graf Z8: Výška celkových ročných úspor scenára WAM (v mld. EUR (2023)) (Graf 165 v texte analýzy) 16
Graf Z9: Vývoj HDP a spotreby domácností vo variante C za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM) (Graf 161 v texte analýzy) 17

Tabuľka Z1: Výsledky scenárov WEM a WAM v oblastiach emisii, obnoviteľných zdrojov a energetickej efektívnosti. 15
Tabuľka Z2: Zmena kumulatívneho HDP, spotreby a zamestnanosti oproti scenáru WEM do roku 2050 17

Zoznam boxov, grafov, schém a tabuliek v štúdii

Box 1: Prostriedky na dosiahnutie zelenej transformácie 19
Box 2: Systém obchodovania s kvótami (ETS) 24
Box 3: Porovnanie vplyvov skleníkových plynov 26
Box 4: Príklad pokrytia aktivity v sektore dopravy 30
Box 5: Príklad výberu technológie na strane dopytu 31
Box 6: Limitácie modelovania 32
Box 7: Aktualizácia a rozširovanie modelovania 32
Box 8: Základné parametre opatrení v poľnohospodárstve 35
Box 9: Príklad výberu opatrení v poľnohospodárskom modeli 36
Box 10: Základné parametre opatrení v LULUCF 37
Box 11: Úprava ťažby dreva na základe historických hodnôt 38
Box 12: Porovnanie cien kvóty ETS medzi scenármi 43
Box 13: Porovnanie cien kvóty ETS2 medzi scenármi 44
Box 14: Výpočet podielu OZE 53
Box 15: Konečná a primárna energetická spotreba 57
Box 16: Čistá a hrubá výroba elektriny a tepla a efektívnosť výroby 60
Box 17: Stabilita siete 70
Box 18: Emisie z priemyselných procesov 74
Box 19: Podiel využitia tepelných čerpadiel v domácnostiach a službách 89
Box 20: Technologické postupy pri zachytávaní a ukladaní CO_2 104
Box 21: Výroba a využitie syntetických palív 105

Graf 1: Podiel svetových emisií skleníkových plynov podľa regiónov (2023) 18
Graf 2: Nárast priemernej globálnej teploty oproti priemeru rokov 1850-1900 (v °C) 18

Graf 3: Plánované financovanie z kohéznej politiky EÚ (2021-2027) 19
Graf 4: Emisie skleníkových plynov na Slovensku (v Mt CO_2 ekv.) 20
Graf 5: Emisie skleníkových plynov v roku 2022 22
Graf 6: Emisie skleníkových plynov v roku 2023 23
Graf 7: Emisie na obyvateľa v jednotlivých krajinách podľa sektorov (2022, v t na obyvateľa) 23
Graf 8: Podiel jednotlivých zložiek plynovej potrubnej zmesi v scenári WAM (v %) 46
Graf 9: Emisie skleníkových plynov do roku 2050 v scenári WEM (v Mt CO_2 ekv.) 49
Graf 10: Emisie skleníkových plynov po sektoroch (1990 = 100 %, WEM) 50
Graf 11: Emisie skleníkových plynov do roku 2050 v scenári WAM (v Mt CO_2 ekv.) 51
Graf 12: Percentuálna zmena emisií skleníkových plynov po sektoroch (v %, WAM) 52
Graf 13: Emisie skleníkových plynov v sektoroch ESR do roku 2030 v scenári WAM (v Mt CO_2 ekv.) 52
Graf 14: Podiel obnoviteľných zdrojov energie na hrubej konečnej spotrebe (v %, WEM) 53
Graf 15: Podiel obnoviteľných zdrojov energie na hrubej konečnej spotrebe (v %, WAM) 55
Graf 16: Konečná energetická spotreba podľa sektora (WEM, v TWh) 56
Graf 17: Konečná energetická spotreba podľa palív (WEM, v TWh) 56
Graf 18: Konečná energetická spotreba podľa sektorov (WAM, v TWh) 57
Graf 19: Konečná energetická spotreba podľa palív (WAM, v TWh) 57
Graf 20: Primárna energetická spotreba podľa palív (WEM, v TWh) 59
Graf 21: Primárna energetická spotreba podľa palív (WAM, v TWh) 59
Graf 22: Spotreba elektrickej energie v roku 2019 podľa odvetví 61
Graf 23: Spotreba tepla v roku 2019 podľa odvetví 61
Graf 24: Hrubá výroba elektrickej energie v elektrárňach roku 2019 podľa zdroja 62
Graf 25: Hrubá výroba tepla podľa palív v KVET a výhrevniach v roku 2019 (v GWh) 62
Graf 26: Emisie z výroby elektriny a tepla v rokoch 1990 až 2022 (v Mt CO_2 ekv.) 62
Graf 27: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v elektrárňach v roku 2019 63
Graf 28: Emisie z výroby elektrickej energie v elektrárňach podľa palív v roku 2019 (v kt CO_2 ekv.) 63
Graf 29: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v zariadeniach KVET v roku 2019 63
Graf 30: Emisie z výroby v zariadeniach KVET podľa palív v roku 2019 (v kt CO_2 ekv.) 63
Graf 31: Primárna energetická spotreba podľa zdroja vo výhrevniach v roku 2019 63
Graf 32: Emisie z výroby tepla vo výhrevniach podľa palív v roku 2019 (v kt CO_2 ekv.) 63
Graf 33: Spotreba elektrickej energie (WEM, v TWh) 64
Graf 34: Spotreba elektrickej energie (WAM, v TWh) 64
Graf 35: Dopyt po teple (v TWh) 65
Graf 36: Čistá výroba el. energie (WEM, v TWh) 66
Graf 37: Čistá výroba el. energie (WAM, v TWh) 66
Graf 38: Inštalovaný výkon (WEM, v GW) 66
Graf 39: Inštalovaný výkon (WAM, v GW) 66
Graf 40: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v elektrárňach (WEM, v TWh) 67
Graf 41: Emisie skleníkových plynov v elektrárňach (WEM, v Mt CO_2 ekv.) 67
Graf 42: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v zariadeniach KVET (WEM, v TWh) 67
Graf 43: Emisie skleníkových plynov v zariadeniach KVET (WEM, v Mt CO_2 ekv.) 67
Graf 44: Primárna energetická spotreba podľa zdroja vo výhrevniach (WEM, v TWh) 68
Graf 45: Emisie skleníkových plynov vo výhrevniach (WEM, v Mt CO_2 ekv.) 68
Graf 46: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v elektrárňach (WAM, v TWh) 68
Graf 47: Emisie skleníkových plynov v elektrárňach (WAM, v Mt CO_2 ekv.) 68
Graf 48: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v zariadeniach KVET (WAM, v TWh) 69
Graf 49: Emisie skleníkových plynov v zariadeniach KVET (WAM, v Mt CO_2 ekv.) 69
Graf 50: Primárna energetická spotreba podľa zdroja vo výhrevniach (WAM, v TWh) 69
Graf 51: Emisie skleníkových plynov vo výhrevniach (WAM, v Mt CO_2 ekv.) 69

Graf 52: Primárna energetická spotreba podľa zdroja vo výrobe elektriny a tepla (WEM, v TWh) 69
Graf 53: Emisie skleníkových plynov vo výrobe elektriny a tepla (WAM, v Mt CO_2 ekv.)....69
Graf 54: Primárna energetická spotreba podľa zdroja vo výrobe elektriny a tepla (WAM, v TWh) 70
Graf 55: Emisie skleníkových plynov vo výrobe elektriny a tepla (WAM, v Mt CO_2 ekv.)....70
Graf 56: Inštalovaný výkon vyrovnávacích systémov (WEM v GW)....72
Graf 57: Inštalovaný výkon vyrovnávacích systémov (WAM v GW)....72
Graf 58: Využitie elektrickej energie z úložných zdrojov (WEM, v GWh)....72
Graf 59: Využitie elektrickej energie z úložných zdrojov (WAM, v GWh) 72
Graf 60: Spotreba vodíka z elektrolýzy (WEM, v GWh)....73
Graf 61: Spotreba vodíka z elektrolýzy (WAM, v TWh)....73
Graf 62: Spotreba palív v priemysle v roku 2019 podľa odvetví (v TWh)....74
Graf 63: Spotreba palív v priemysle v roku 2019 podľa energonosiča (v TWh) 74
Graf 64: Emisie skleníkových plynov z energetického využitia palív podľa sektora v roku 2019 ...74
Graf 65: Emisie skleníkových plynov z IPPU podľa sektora v roku 2019 74
Graf 66: Podiel priemyselných odvetví na emisiách skleníkových plynov za rok 2019 75
Graf 67: Spotreba palív podľa odvetví do roku 2050 (WEM, v TWh)....76
Graf 68: Spotreba palív podľa odvetví do roku 2050 (WAM, v TWh) 76
Graf 69: Spotreba palív v priemysle do roku 2050 podľa energonosiča (WEM, v TWh) 77
Graf 70: Spotreba palív v priemysle roku 2050 podľa energonosiča (WAM, v TWh) 77
Graf 71: Emisie skleníkových plynov z palív v priemysle do roku 2050 (WEM, v Mt CO_2 ekv.) 78
Graf 72: Emisie skleníkových plynov z palív v priemysle do roku 2050 (WAM, v Mt CO_2 ekv.)....78
Graf 73: Emisie skleníkových plynov z IPPU do roku 2050 (WEM, v Mt CO_2 ekv.) 79
Graf 74: Emisie skleníkových plynov z IPPU do roku 2050 (WAM, v Mt CO_2 ekv.) 79
Graf 75: Celkové emisie skleníkových plynov v priemysle do roku 2050 (WEM, v Mt CO_2 ekv.) 79
Graf 76: Celkové emisie skleníkových plynov v priemysle do roku 2050 (WAM, v Mt CO_2 ekv.)....79
Graf 77: Spotreba palív v doprave (v %, v roku 2019) 80
Graf 78: Spotreba energií podľa druhu dopravy (v %, v roku 2019) 80
Graf 79: Emisie z dopravy podľa typu paliva (v %, v roku 2019)....80
Graf 80: Emisie podľa typu dopravy (v %, v roku 2019)....80
Graf 81: Emisie z dopravy v rokoch 1990 až 2022 (v Mt CO_2 ekv.)....81
Graf 82: Osobná doprava (v mld. osobokilometroch)....81
Graf 83: Nákladná doprava (v mld. tonokilometroch) 81
Graf 84: Počet osobných vozidiel podľa pohonu (WEM, v mil. ks) 82
Graf 85: Počet osobných vozidiel podľa pohonu (WAM, v mil. ks) 82
Graf 86: Počet autobusov podľa pohonu (WEM, v tis. ks) 82
Graf 87: Počet autobusov podľa pohonu (WAM, v tis. ks) 82
Graf 88: Počet ľahkých úžitkových vozidiel podľa pohonu (WEM, v tis. ks) 83
Graf 89: Počet ľahkých úžitkových vozidiel podľa pohonu (WAM, v tis. ks) 83
Graf 90: Počet ťažkých úžitkových vozidiel podľa pohonu (WEM, v tis. ks)....83
Graf 91: Počet ťažkých úžitkových vozidiel podľa pohonu (WAM, v tis. ks)....83
Graf 92: Palivá v doprave do roku 2050 (v TWh, scenár WEM) 84
Graf 93: Palivá v doprave do roku 2050 (v TWh, scenár WAM)....84
Graf 94: Emisie v doprave do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv., scenár WEM) 85
Graf 95: Emisie v doprave do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv., scenár WAM)....85
Graf 96: Konečná energetická spotreba domácností podľa využitia v roku 2019 85
Graf 97: Konečná energetická spotreba domácností podľa palív v roku 2019....85
Graf 98: Podiel emisií CO_2 ekv. podľa koncového využitia v domácnostiach v roku 2019 86
Graf 99: Podiel emisií CO_2 ekv. v domácnostiach podľa paliva v roku 2019....86
Graf 100: Konečná energetická spotreba domácností podľa využitia do roku 2050 (WEM, v TWh) 87

Graf 101: Konečná energetická spotreba domácností podľa využitia do roku 2050 (WAM, v TWh) 87
Graf 102: Konečná energetická spotreba domácností podľa palív (WEM, v TWh) 88
Graf 103: Konečná energetická spotreba domácností podľa palív (WAM, v TWh) 88
Graf 104: Emisie domácností podľa konečnej spotreby (WEM, v Mt CO_2 ekv.) 88
Graf 105: Emisie domácností podľa palív (WEM, v Mt CO_2 ekv.) 88
Graf 106: Emisie domácností podľa konečnej spotreby (WAM, v Mt CO_2 ekv) 89
Graf 107: Emisie domácností podľa palív (WAM, v Mt CO_2 ekv.) 89
Graf 108: Podiel tepla využitého v domácnostiach z tepelných čerpadiel (v %) 90
Graf 109: Podiel tepla využitého v službách z tepelných čerpadiel (v %) 90
Graf 110: Spotreba palív v službách v roku 2019 podľa využitia 91
Graf 111: Spotreba palív v službách v roku 2019 podľa energonosiča 91
Graf 112: Emisie skleníkových plynov v sektore služieb podľa využitia v roku 2019 91
Graf 113: Emisie skleníkových plynov v sektore služieb podľa palív v roku 2019 91
Graf 114: Konečná energetická spotreba sektora služieb podľa využitia (WEM, v TWh) 92
Graf 115: Konečná energetická spotreba sektora služieb podľa palív (WEM, v TWh) 92
Graf 116: Konečná energetická spotreba sektora služieb podľa využitia (WAM, v TWh) 93
Graf 117: Konečná energetická spotreba sektora služieb podľa palív (WAM, v TWh) 93
Graf 118: Emisie sektora služieb podľa konečnej spotreby (WEM, v Mt CO_2 ekv.) 93
Graf 119: Emisie sektora služieb podľa palív (WEM, v Mt CO_2 ekv.) 93
Graf 120: Emisie sektora služieb podľa konečnej spotreby (WAM, v Mt CO_2 ekv.) 94
Graf 121: Emisie sektora služieb podľa palív (WAM, v Mt CO_2 ekv.) 94
Graf 122: Emisie z poľnohospodárstva v rokoch 1990 až 2022 (v Mt CO_2 ekv.) 95
Graf 123: Počet najpočetnejších hospodárskych zvierat (WEM aj WAM) 95
Graf 124: Počet ostatných hospodárskych zvierat (WEM aj WAM) 95
Graf 125: Obhospodárovaná plocha jednotlivými plodinami (v ha, WEM aj WAM) 95
Graf 126: Obhospodárovaná plocha jednotlivými plodinami (v ha, WEM aj WAM) 95
Graf 127: Emisie z rastlinnej výroby do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv.) 96
Graf 128: Emisie zo živočíšnej výroby do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv.) 96
Graf 129: Emisie z poľnohospodárstva do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv.) 97
Graf 130: Spotreba palív v poľnohospodárstve v roku 2019 (v %) 97
Graf 131: Spotreba palív podľa využitia v poľnohospodárstve v roku 2019 (v %) 97
Graf 132: Emisie v poľnohospodárstve podľa paliva v roku 2019 (v %) 98
Graf 133: Emisie z vykurovania a dopravy v poľnohospodárstve v roku 2019 (v %) 98
Graf 134: Spotreba palív v poľnohospodárstve (WEM, v GWh) 98
Graf 135: Spotreba palív podľa využitia v poľnohospodárstve (WEM, GWh) 98
Graf 136: Emisie z vykurovania a dopravy v poľnohospodárstve (WEM, v kt CO_2 ekv.) 98
Graf 137: Emisie z vykurovania a dopravy v poľnohospodárstve (WEM, v kt CO_2ekv.) 98
Graf 138: Spotreba palív v poľnohospodárstve (WAM, v MWh) 99
Graf 139: Spotreba energie podľa využitia v poľnohospodárstve (WAM, MWh) 99
Graf 140: Emisie z vykurovania a dopravy v poľnohospodárstve (WAM, v kt CO_2 ekv.) 99
Graf 141: Emisie z vykurovania a dopravy v poľnohospodárstve (WAM, v kt CO_2 ekv.) 99
Graf 142: Podiel emisií z činností nakladania s odpadom (2019 v % CO_2 ekv.) 100
Graf 143: Emisie skleníkových plynov z odpadov (WEM, v Mt CO_2 ekv.) 101
Graf 144: Emisie skleníkových plynov z odpadov (WAM, v Mt CO_2 ekv.) 101
Graf 145: Emisie z LULUCF v rokoch 1990 až 2022 (v Mt CO_2 ekv.) 102
Graf 146: Emisie z LULUCF do roku 2050 v scenári WEM (v Mt CO_2 ekv.) 102
Graf 147: Emisie z LULUCF do roku 2050 v scenári WAM (v Mt CO_2 ekv.) 103
Graf 148: Emisie z LULUCF do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv.) 103
Graf 149: Umelé záchyty emisií v priemysle a energetike (WAM, v Mt CO_2) 105
Graf 150: Výroba syntetických palív zo záchytov CO_2 (WAM, v kt CO_2) 105
Graf 151: Fugitívne emisie v rokoch 1990 až 2022 (v Mt CO_2 ekv.) 106

Graf 152: Ostatné emisie skleníkových plynov v rokoch 1990 až 2022 (v kt CO_2 ekv.) 106
Graf 153: Fugitívne emisie skleníkových plynov (WEM, v kt CO_2 ekv.) 107
Graf 154: Fugitívne emisie skleníkových plynov (WAM, v kt CO_2 ekv.) 107
Graf 155: Vývoj HDP za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM) 109
Graf 156: Zmena kumulatívneho HDP za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM) 109
Graf 157: Zmena kumulatívnej spotreby domácností za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM) 110
Graf 158: Zmena kumulatívnej zamestnanosti za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM) 110
Graf 159: Vývoj HDP a spotreby domácností vo variante A za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM) 111
Graf 160: Vývoj HDP a spotreby domácností vo variante B za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM) 111
Graf 161: Vývoj HDP a spotreby domácností vo variante D za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM) 112
Graf 162: Vývoj HDP a spotreby domácností vo variante C za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM) 112
Graf 163: Zmena kumulatívnej produkcie v sektoroch vo variante C od roku 2019 do roku 2050 (% zmena oproti WEM) 113
Graf 164: Výška celkových ročných úspor scenára WAM v roku 2030 (v mil. EUR (2023)) 114
Graf 165: Porovnanie výšky investícií WAM do roku 2030 (v mld. EUR (2023)) 114
Graf 166: Výška celkových ročných úspor scenára WAM (v mld. EUR (2023)) 115
Graf 167: Výška dodatočných investícií scenára WAM v dopytových sektoroch 115
Graf 168: Výška ročných úspor v priemysle (v mld. EUR (2023)) 116
Graf 169: Výška investícií v priemysle (v mld. EUR (2023)) 116
Graf 170: Kapitálové náklady na výrobu syntetických palív (v mil. EUR (2023)) 116
Graf 171: Operačné náklady na výrobu syntetických palív (v mil. EUR (2023)) 116
Graf 172: Celkové náklady na záchyt, prepravu a uskladnenie CO_2 vo variante s úložiskom vzdialeným 100 km (v mil. EUR (2023)) 117
Graf 173: Celkové náklady na záchyt, prepravu a uskladnenie CO_2 vo variante s úložiskom vzdialeným 1000 km (v mil. EUR (2023)) 117
Graf 174: Celkové náklady na záchyt, prepravu a uskladnenie CO_2 podľa sektorov s úložiskom vzdialeným 100 km (v mil. EUR (2023)) 117
Graf 175: Celkové náklady na záchyt, prepravu a uskladnenie CO_2 podľa sektorov s úložiskom vzdialeným 1000 km (v mil. EUR (2023)) 117
Graf 176: Výška ročných úspor v domácnostiach (v mld. EUR (2023)) 118
Graf 177: Výška dodatočných investícií v domácnostiach (v mld. EUR (2023)) 118
Graf 178: Výška ročných úspor v službách (v mld. EUR (2023)) 119
Graf 179: Výška dodatočných investícií v službách (v mld. EUR (2023)) 119
Graf 180: Výška ročných úspor v doprave (v mld. EUR (2023)) 119
Graf 181: Výška dodatočných investícií v doprave (v mld. EUR (2023)) 119
Graf 182: Investície do energetických zariadení (WEM, v mld. EUR (2023)) 120
Graf 183: Investície do energetických zariadení (WAM, v mld. EUR (2023)) 120
Graf 184: Ročné výdavky na prenosové a distribučné sústavy (v mil. EUR (2023)) 121
Graf 185: Priemerná cena elektrickej energie s DPH a poplatkami (v EUR (2023) na MWh) 121
Graf 186: Ročné dodatočné náklady scenára WAM v LULUCF (v mil. EUR (2023)) 122
Graf 187: Kumulatívne náklady scenára WAM v LULUCF (v mld. EUR (2023)) 122
Graf 188: Čisté úspory scenára WAM oproti WEM v poľnohospodárstve (v mil. EUR (2023)) 123
Graf 189: Primárna energetická spotreba SR (SWAM, v GWh) 126
Graf 190: Emisie skleníkových plynov SR (SWAM, v Mt CO_2 ekv.) 126
Graf 191: Podiel OZE v odvetviach výroby elektriny, vykurovania a chladenia a doprave (v %) 127

Schéma 1: Iteratívny proces hľadania ekonomickej rovnováhy trhu 29

Schéma 2: Sektory pokryté modulom Demand 29
Schéma 3: Rozdelenie sektora dopravy na energetické činnosti 30
Schéma 4: Zariadenia v moduli Supply 30
Schéma 5: Príklad rozhodovacieho stromu v moduli Demand 31
Schéma 6: Prepojenia modelov 34
Schéma 7: Funkcionalita tepelných čerpadiel 89
Schéma 8: Separácia CO_2 od zmesi plynov 104

Tabuľka 1: Prehľad finančných zdrojov 19
Tabuľka 2: Prehľad emisných cieľov EÚ do roku 2030 a ich stav z pohľadu SR 24
Tabuľka 3: Prehľad emisných cieľov SR do roku 2030 25
Tabuľka 4: Ciele pre podiel obnoviteľných zdrojov do roku 2030 25
Tabuľka 5: Ciele v oblasti energetickej efektívnosti do roku 2030 26
Tabuľka 6: Porovnávanie vplyvov skleníkových plynov na zmenu klímy 26
Tabuľka 7: Aplikačný potenciál vybraných opatrení podľa roku (v %) 36
Tabuľka 8: Aplikovaný redukčný potenciál vybraných opatrení podľa roku (v %) 37
Tabuľka 9: Predpoklady referenčných hodnôt základných makroekonomických ukazovateľov do roku 2050 40
Tabuľka 10: Hodnoty dát aktivity pre vybrané sektory a odvetvia 40
Tabuľka 11: Predpokladaná cena komoditných palív (v 2023 eur na MWh) 41
Tabuľka 12: Predpokladaná cena kvóty ETS podľa scenára (v EUR (2023)) 43
Tabuľka 13: Maximálny aplikačný potenciál vybraných opatrení v scenároch WEM a WAM (v %) 44
Tabuľka 14: Predpokladaná cena emisných kvót ETS2 podľa scenára (v 2023 eur) 44
Tabuľka 15: Podiely bio- a syntetických palív v doprave v scenároch WEM a WAM (v %) 45
Tabuľka 16: Modernizácia teplárenstva 46
Tabuľka 17: Príklad zariadení KVET 60
Tabuľka 18: Náklady na záchyt v priemyselných odvetviach (v EUR (2023) na tonu) 104
Tabuľka 19: Rozdiel ročných nákladov scenára WAM oproti WEM v poľnohospodárstve (v mil. EUR (2023)) 123
Tabuľka 20: Plnenie cieľov pre rok 2030 v scenári SWAM 125
Tabuľka 21: Počet vozidiel s batériovým elektrickým pohonom 127
Tabuľka 22: Opatrenia v modeli CPS v scenári WEM 128
Tabuľka 23: Opatrenia v modeli CPS v scenári WAM 128
Tabuľka 24: Opatrenia v poľnohospodárskom modeli v scenári WEM 131
Tabuľka 25: Opatrenia v poľnohospodárskom modeli v scenári WAM 131
Tabuľka 26: Opatrenia v LULUCF v scenári WAM 133
Tabuľka 27: Opatrenia v sektore odpadov v modeli CPS v scenári WEM 134
Tabuľka 28: Opatrenia v sektore odpadov v modeli CPS v scenári WAM 134

Zoznam skratiek

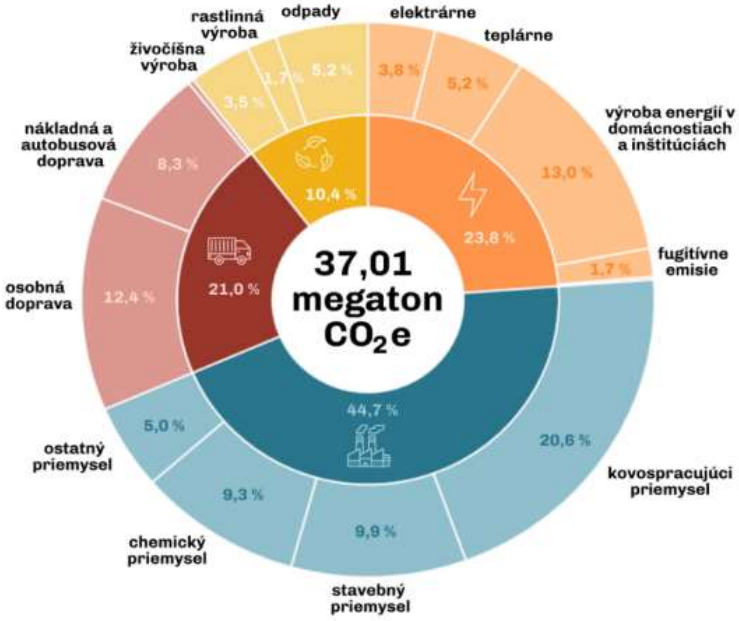
CPS	Compact Primes Slovakia
CZT	Centrálne zásobovanie teplom
EK	Európska komisia
ESR	Effort sharing regulation
ETS	Systém obchodovania s emisnými kvótami
ETS2	Systém obchodovania s emisnými kvótami zahrňujúce pohonné hmoty, vykurovacie palivá a male priemyselné podniky
GEM-E3-SK	Makroekonomický model
GHG	z angl. greenhouse gas, skleníkové plyny
IPPU	Industrial proceses and product use, priemyselné procesy a využitie produktov
KVET	Kombinovaná výroba elektriny a tepla
LULUCF	z angl. land use, land use change and forestry, Využívanie pôdy, zmeny vo využívani pôd a lesníctva
MPRV	Ministerstvo poľnohospodárstva a rozvoja vidieka
NECP	national energy and climate plan, národný energetický a klimatický plán
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
SWAM	z angl. super WAM
RED III	Renewable energy directive III
SEPS	Slovenská elektrifikačná a prenosová sústava
WAM	z ang. with additional measures, s dodatočnými opatreniami
WEM	z angl. with existing measures, s jestvuúcimi opatreniami

Zhrnutie

Skleníkové plyny patria medzi hlavné príčiny zmeny klímy a ľudská činnosť prispieva k otepleniu o 0,2 °C za desaťročie. Prírodnými príčinami sú čiastočne napr. vulkanické erupcie či zmeny v obehu Zeme. Koncentrácia oxidu uhličitého v atmosfére narástla z 316 ppm[1] na 425 ppm od roku 1960. Posledné desaťročie bolo najteplejším v histórii meraní, s priemernou teplotou vyššou o 1,25 °C oproti priemeru rokov 1850 – 1900 (WMO, 2025). V roku 2015 sa takmer všetky krajiny vrátane Slovenska zaviazali k Parížskej dohode, ktorá stanovila cieľ dlhodobo obmedziť otepľovanie pod 2 °C. Následne sa EÚ zaviazala dosiahnuť do roku 2050 klimatickú neutralitu.

Slovensko medzi rokmi 1990 a 2022 znížilo svoje emisie skleníkových plynov o 53,8 % na úroveň 29,8 Mt CO_2 ekv. Pokles nastal v dôsledku postupného útlmu výroby elektriny a tepla z uhlia, modernizácie energeticky náročných priemyselných podnikov, ale aj znižovania poľnohospodárskej produkcie. Výrazný vplyv malo aj zlepšovanie tepelno-technického stavu budov a odklon od vykurovania tuhými fosílnymi palivami. Naopak, emisie rástli v cestnej doprave a odpadovom hospodárstve kvôli rastu životnej úrovne.

Graf Z1: Emisie skleníkových plynov v roku 2022 (Graf 5 v texte analýzy)



Zdroj: IEP podľa (SHMÚ, 2024)

Táto štúdia modeluje cenovo optimálnu trajektóriu ako jednu z možných ciest k dosiahnutiu klimatickej neutrality. Emisie skleníkových plynov produkujú skoro všetky činnosti hospodárstva, preto bude znižovanie emisií vyžadovať spoločné úsilie rôznych sektorov a aktérov. Lacné a ľahko implementovateľné opatrenia sa už minuli a zostávajú opatrenia s komplexnými vplyvmi na zvyšok ekonomiky. Z tohto dôvodu boli zvolené modely, ktoré sú schopné poskytnúť cenovo optimalizovaný a súhrnný pohľad na všetky sektory. Jedná sa o model energetického systému CPS, makroekonomický model GEM-E3-SK, poľnohospodársky model a model LULUCF.

Tvorba viacerých scenárov umožňuje porovnať vplyvy opatrení a politík. Výber opatrení zodpovedá rôznym mieram ambície, čo umožňuje hodnotenie platných a očakávaných politík a opatrení, ako aj doteraz neurčených politík, ktoré sú potrebné pre splnenie

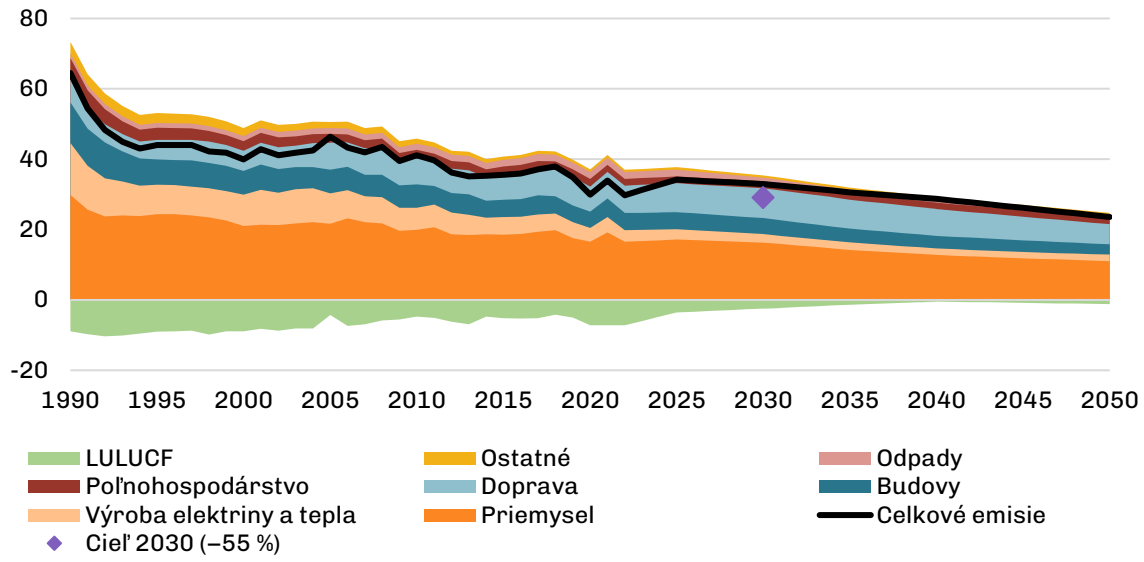
[1] ppm – parts per milion, častíc na milión.

navrhovaných národných cieľov. Pre účely porovnania súčasného vývoja s trajektóriou potrebnou pre dosiahnutie klimatickej neutrality boli v tejto štúdii spracované dva scenáre – základný scenár WEM a dekarbonizačný scenár WAM.

Základný scenár WEM obsahuje opatrenia a politiky prijaté do konca roka 2021. Ide o referenčný scenár vychádzajúci z aktuálneho stavu a smerovania energetického systému a predpokladaného makroekonomického vývoja do roku 2050. Je využívaný na porovnanie s ďalšími (dekarbonizačnými) scenármi. Cieľom je ukázať budúci vývoj, ktorý je pravdepodobný bez prijatia ďalších opatrení.

Bez dodatočných opatrení sa Slovensku do roku 2050 nepodarí dosiahnuť klimatickú neutralitu. V základnom scenári bez dodatočných opatrení (WEM) klesnú do roku 2050 čisté emisie skleníkových plynov o 63,4 % v porovnaní s rokom 1990. Vypustených bude približne 24,8 Mt emisií, pričom lesy a pôda zachytia len ich malú časť (1,2 Mt). K najvýraznejšiemu poklesu emisií dôjde v energetike, kde sa očakáva ústup od využitia uhlia.

Graf Z2: Emisie skleníkových plynov do roku 2050 (WEM, v Mt CO2 ekv.) (Graf 9 v texte analýzy)



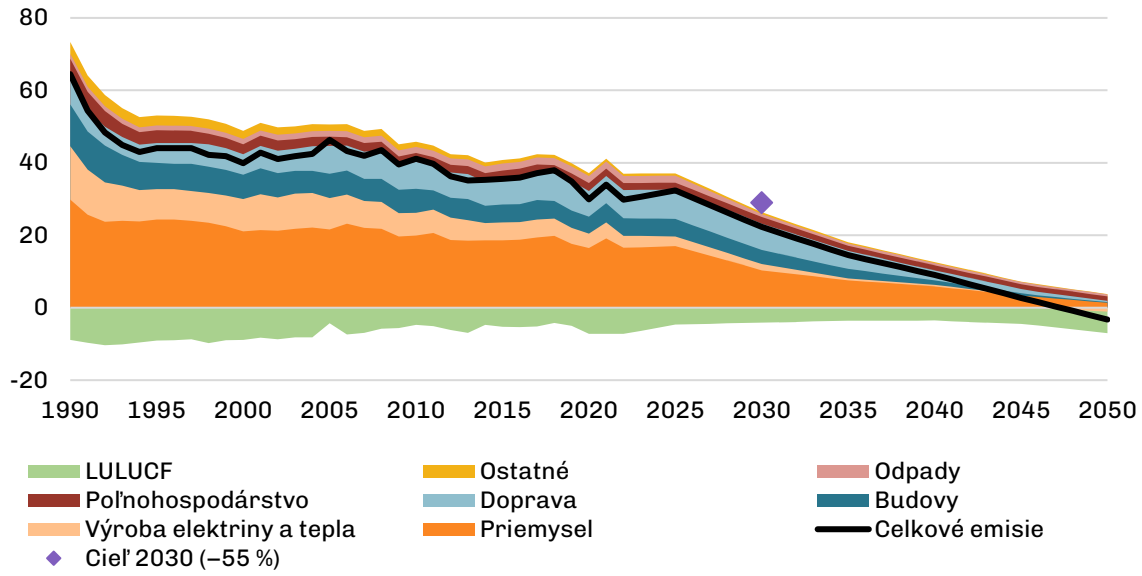
Zdroj: IEP podľa SHMÚ do roku 2022 a po roku 2023 podľa CPS a SHMÚ

Dekarbonizačný scenár WAM má za cieľ dosiahnuť klimatickú neutralitu do roku 2050. Vychádza zo všetkých aktuálne prijatých alebo navrhovaných opatrení a investícií. Z dlhodobého hľadiska berie ohľad na štátom zverejnené stratégie a plány (napr. plánované investície do jadrových zdrojov). Za účelom dosiahnutia cieľa používa aj dodatočné predpoklady, ktoré doteraz nemajú formu navrhovaných politík, ako napr. primiešavanie bezemisných plynov do potrubnej plynovej zmesi.

Dosiahnutie klimatickej neutrality je možné v prípade využitia dodatočných opatrení naprieč všetkými sektormi hospodárstva. V dôsledku zvýšeného úsilia by do roku 2030 klesli emisie skleníkových plynov v scenári s dodatočnými opatreniami (WAM) o 65,5 % oproti roku 1990, predovšetkým vďaka elektrifikácii vo všetkých odvetviach. Na dosiahnutie klimatickej neutrality v horizonte roku 2050 bude nutné pristúpiť k ekonomicky náročným opatreniam, ako sú prechod na priamu redukciu železnej rudy v hutníckom priemysle, umelé záchyty ale aj výrobu zeleného vodíka.

Medzi najrobustnejšie opatrenia patria ETS a zavedenie ETS2 v sektoroch cestnej dopravy a budov. Cena emisných kvót ETS motivuje podniky prejsť na nízkoemisnú prevádzku. Očakáva sa, že zavedenie ETS2 bude postupne motivovať občanov k prechodu na elektrické vozidlá a nízkoemisné vykurovanie. Výnosy z kvót sa následne preinvestujú prostredníctvom podporných schém, ako sú Environmentálny fond a Sociálno-klimatický fond. Zdroje je potrebné cieliť na zníženie negatívnych vplyvov na podniky a občanov.

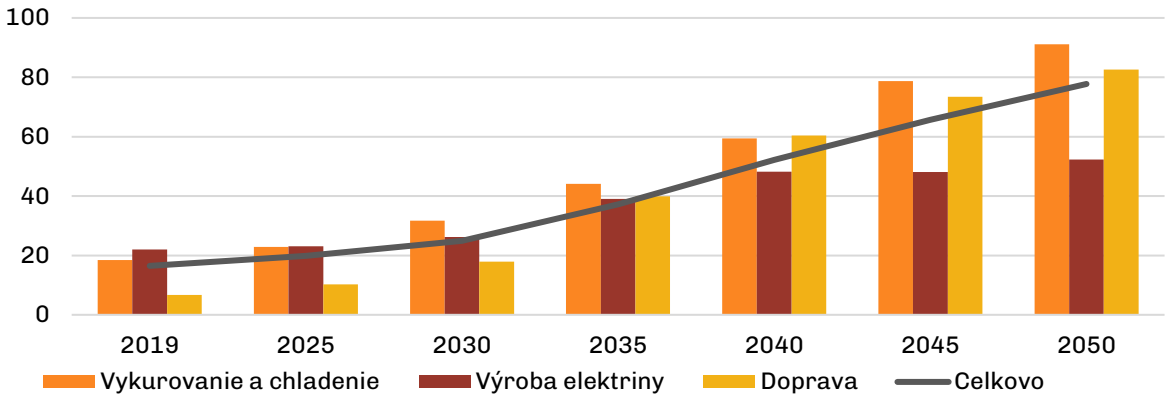
Graf Z3: Emisie skleníkových plynov do roku 2050 v scenári WAM (v Mt CO2 ekv.) (Graf 11 v texte analýzy)



Zdroj: IEP podľa SHMÚ do roku 2022 a po roku 2023 podľa CPS Poľnohospodárskeho modelu a LULUCF modelu

Cieľ v oblasti OZE v roku 2030 sa Slovensku pravdepodobne nepodarí splniť. V scenári WAM dosiahne celkový podiel OZE 25 % a v doprave 18 %, čo nedosahuje indikatívny cieľ na úrovni 35 %, ani cieľ určený v doprave 29 %. Je to najmä v dôsledku zvýšenia kapacity výroby elektrickej energie z jadra a nedostatočnej podpory rozvoja riešení využívajúcich obnoviteľné zdroje. Dosiahnutie cieľov pre rok 2030 v oblasti OZE by si vyžiadalo dodatočné urýchlené opatrenia nad rámec scenára WAM, aj pri ich zavádzaní však môže byť problémom nedostatok technických kapacít.

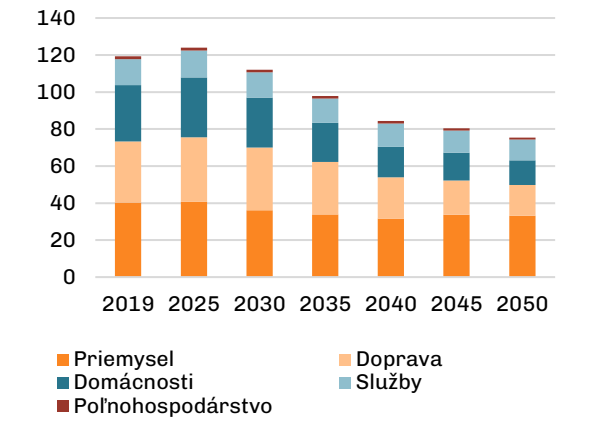
Graf Z4: Podiel obnoviteľných zdrojov energie (WAM, v %) (Graf 15 v texte analýzy)



Zdroj: IEP podľa CPS

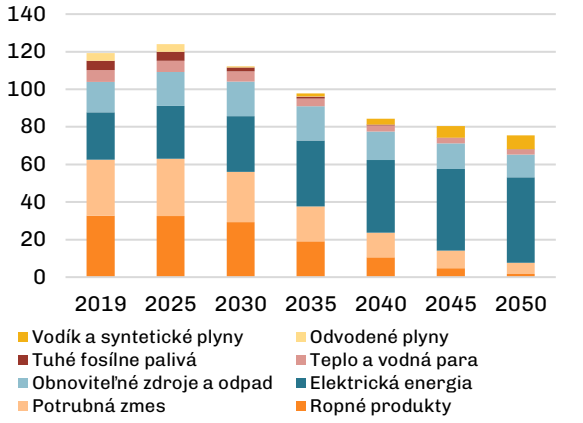
Ani jeden z cieľov pre energetickú efektívnosť v roku 2030 sa v scenároch WEM a WAM nepodarí dosiahnuť. Splniť ciele je možné len urýchleným prijatím veľmi ambicióznych opatrení a politík, čo za taký krátky čas nie je realistické. Spotrebu tiež nie je možné zásadne znížiť bez výrazných investičných nákladov (napr. v oblasti dopravy nákupom veľkého počtu elektromobilov). Kľúčovým je nahrádzanie menej efektívnych palív elektrickou energiou, výmena starších zariadení za efektívnejšie, ale aj zníženie únikov tepla v budovách.

Graf Z5: Konečná energetická spotreba podľa sektorov (WAM, v TWh) (Graf 17 v texte analýzy)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf Z6: Konečná energetická spotreba podľa palív (WAM, v TWh) (Graf 19 v texte analýzy)



Zdroj: IEP podľa CPS

Tabuľka Z1: Výsledky scenárov WEM a WAM v oblastiach emisii, obnoviteľných zdrojov a energetickej efektívnosti.

Názov cieľa	Cieľová hodnota (v 2030)	WEM (v 2030)	WAM (v 2030)	WEM (v 2050)	WAM (v 2050)
Celkové GHG emisie	29 014 kt	32 941 kt	22 264 kt	23 577 kt	-3 271 kt
ETS emisie	9 588 kt	17 136 kt	10 670 kt	11 951 kt	0 kt
ESR emisie	17 885 kt	18 494 kt	15 718 kt	12 584 kt	2 688 kt
LULUCF emisie	–5 939 kt	–2 472 kt	–4 099 kt	-1 205 kt	-5 959 kt
Podiel OZE	25 %/35 %	19,5 %	25 %	30,2 %	77,8 %
Podiel OZE v doprave	29 %	9,5 %	18 %	28 %	82,7 %
Konečná energetická spotreba	99,9 TWh	124,8 TWh	112,1 TWh	105,2 TWh	75,5 TWh
Primárna energetická spotreba	162,1 TWh	209,8 TWh	191,5 TWh	190 TWh	166,6 TWh

Zdroj: IEP podľa CPS, Poľnohospodárskeho modelu a LULUCF modelu

Elektrifikácia oceliarní je kľúčovou pri znižovaní emisií v priemysle. Pri modelovaní sa predpokladá, že podniky dekarbonizujú pri zachovaní a navýšení ich hospodárskej pridanej hodnoty. Očakáva sa postupný prechod na bezemisné technológie a palivá, najmä v hutníckom, chemickom, petrochemickom a stavebnom priemysle, ako sú výroba vodíka elektrolýzou, využívanie tuhých alternatívnych palív, ale aj umelé záchyty oxidu uhličitého v neskoršom období.

Doprava je jediný sektor, v ktorom emisie skleníkových plynov stále stúpajú. Od začiatku deväťdesiatych rokov sa počet osobných i ťažkých úžitkových vozidiel na Slovensku viac ako zdvojnásobil a očakáva sa ďalší rast. Sektor dopravy v SR zodpovedá za približne 21 % všetkých emisií skleníkových plynov, z čoho až 98 % predstavuje cestná doprava. Kľúčovým opatrením v osobnej doprave je elektrifikácia, v prípade ťažkých úžitkových vozidiel diverzifikácia palív prechodom na bezemisné alternatívy, ako je vodík.

V sektore budov sú kľúčovými opatreniami zlepšenie tepelno technických vlastností budov a prechod na bezemisné vykurovanie. Predošlé opatrenia podporovali prechod na zemný plyn za účelom zníženia emisií znečisťujúcich látok v ovzduší z uhlia. Približne 39 % energie v budovách pochádza zo zemného plynu. Prechod na tepelné čerpadlá a elektrické vykurovanie je zameraný najmä na zvyšovanie efektivity vykurovania, ale aj zníženie emisií skleníkových plynov. Dôležitým opatrením je aj zlepšenie tepelno-technických vlastností budov, čo zapríčiní nižší dopyt po vykurovacích palivách. V dôsledku opatrení sa v roku 2050 ušetrí 2,5 mld. eur ročne na energiách.

Emisie z poľnohospodárstva by sa v scenári WAM medzi rokmi 2019 a 2050 podarilo znížiť o 39,5 %. Emisie zo živočíšnej výroby by sa v rovnakom období znížili o 38,8 % a emisie z rastlinnej výroby o 40,8 %. K výraznejšiemu poklesu emisií má dôjsť okolo roku 2035, kedy sa očakáva zvýšenie dostupnosti a rozšírenie viacerých nových technológií. Medzi najdôležitejšie opatrenia z pohľadu úspory emisií patria najmä aplikácia 3-NOP ako kŕmneho aditíva či neutralizácia metánu pomocou zariadenia typu ZELP. V rastlinnej výrobe bude hrať dôležitú úlohu nahradenie močoviny hnojivami so stabilizovaným obsahom dusíka alebo vedľajšími produktmi živočíšnej výroby.

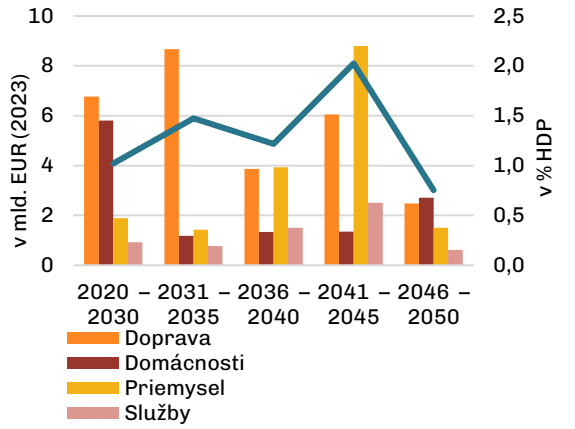
Dodatočné opatrenia ako zavedenie množstvového zberu a zvyšovanie pripojenosti na kanalizácie v scenári WAM znížia emisie skleníkových plynov v sektore odpadov o 72,2 % do roku 2050. Veľká časť poklesu sa očakáva už do roku 2030 v dôsledku znižovania miery skládkovania prostredníctvom zavedenia mechanicko-biologickej úpravy odpadu, triedenia kuchynského bioodpadu a triedenia textilu. Taktiež očakáva zavedenie množstvového zberu a dodatočného zachytávania skládkového plynu. So zvyšením miery pripojenia na kanalizáciu mierne klesnú emisie z odpadových vôd.

Výrazné zvýšenie množstva prirodzených záchytov je z krátko- a strednodobého hľadiska náročné dosiahnuť bez zníženia ťažby dreva. Scenár WAM dosiahne v porovnaní so scenárom WEM do roku 2030 navýšenie záchytov o približne 1 600 kt CO_2 ekv. Prirodzené záchyty sú historicky najviac ovplyvňované mierou obnovy lesa. V súčasnosti dlhodobo klesá priemerná schopnosť lesných porastov zachytávať CO_2 najmä z dôvodu nevyrovnanej vekovej štruktúry.

Umelé zachytávanie CO_2 predstavuje jednu z pokročilých a nákladnejších techník znižovania emisií. Využitie umelých záchytov sa očakáva najmä pri zachytávaní procesných emisií v priemysle len v scenári WAM, kde v roku 2050 tvoria približne 4 Mt CO_2 ekv, z čoho 800 kt CO_2 ekv. by sa ďalej využilo na výrobu syntetických palív.

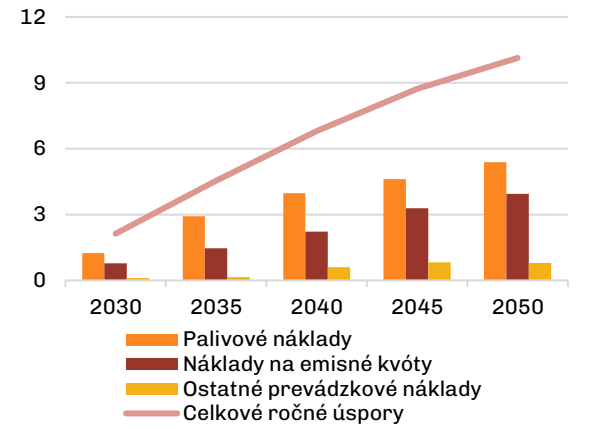
Na dosiahnutie klimatickej neutrality v roku 2050 v sektoroch konečnej spotreby energií budú potrebné dodatočné investície[2] v odhadovanej výške 64 mld. eur v cenách roku 2023. Ročné dodatočné investície sa v scenári WAM pohybujú medzi 0,75 a 2 % HDP Slovenska. Investície prinesú v energetických sektoroch úspory na prevádzkových nákladoch vo výške 10,1 mld. ročne v roku 2050. Vo výrobe elektrickej energie a tepla bude potrebné investovať dodatočných cca 17,3 mld. eur. Opatrenia na zvýšenie záchytov v sektore LULUCF si do roku 2050 dodatočne vyžiadajú približne 4,4 mld. eur.

Graf Z7: Výška dodatočných investícií scenára WAM v dopytových sektoroch[3] (Graf 167 v texte analýzy)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf Z8: Výška celkových ročných úspor scenára WAM (v mld. EUR (2023)) (Graf 166 v texte analýzy)



Zdroj: IEP podľa CPS

[2] V porovnaní so scenárom WEM. Ide o všetky potrebné investície bez určenia miery spoluúčasti z verejných zdrojov.
[3] Hodnoty v grafe sú okrem výnimky pre rok 2030 uvádzané za päťročné obdobie predchádzajúce uvedenému roku, pričom výška HDP je určená v záverečnom roku.

Dodatočné investície potrebné na zelenú transformáciu prinesú trvalý pozitívny efekt pre hospodárstvo len vtedy, ak bude pre ne zabezpečené financovanie. Vyššie ceny ETS a zníženie podielu bezodplatných kvót znamená aj zvýšené výrobné náklady v emisne náročných sektoroch. To zhoršuje ich konkurencieschopnosť a má negatívny dopad na export týchto produktov a spotrebu domácností. V prípade nezabezpečenia financovania investícií by došlo k nedostatku prostriedkov na kapitálovom trhu. Environmentálne príjmy sa však použijú na financovanie dodatočných výdavkov domácností a zvyšok na zníženie všeobecného zdanenia a príspevkov do sociálnej poisťovne. Nižšie prevádzkové náklady na dopravu, vykurovanie a chladenie podporia tvorbu úspor, resp. presunutie výdavkov do produktov s vyššou pridanou hodnotou. Zvýšená investičná aktivita tak zmierni očakávané spomalenie rastu HDP.

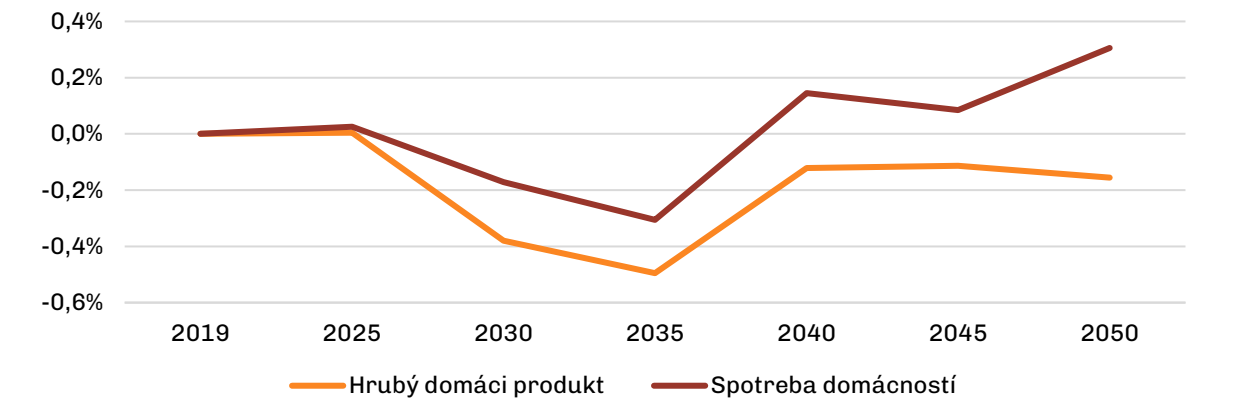
Tabuľka Z2: Zmena kumulatívneho HDP, spotreby a zamestnanosti oproti scenáru WEM do roku 2050

	HDP	Spotreba domácností	Zamestnanosť
Variant A	–0,23 %	–0,47 %	–0,5 %
Variant B	–0,7 %	–0,85 %	–0,39 %
Variant C	–0,19 %	– 0,01 %	–0,54 %
Variant D	– 0,66 %	– 0,38 %	–0,44 %

Zdroj: IEP podľa GEM-E3-SK

Najväčší ekonomický rozvoj nastáva v sektoroch úzko súvisiacich s energetickou transformáciou. Jedná sa hlavne o rapídne sa rozvíjajúce oblasti výroby elektriny, vodíka, batérií, solárnych panelov a iných zariadení priamo potrebných pre energetický systém. Veľký rozvoj je možné očakávať aj v oblasti výroby automobilov, špecificky elektrických batériových vozidiel, ako aj v stavebníctve, ktoré je hnané investíciami do energetickej efektívnosti. V odvetviach spojených s fosílnymi palivami a emisne náročných sektoroch sa skôr očakáva útlm. S poklesom dopytu po fosílnych palivách sa následne zvyšujú náklady na ich produkciu, čo podporuje ďalší rast cien.

Graf Z9: Vývoj HDP a spotreby domácností vo variante C za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM) (Graf 162 v texte analýzy)



Zdroj: GEM-E3-SK

1 Prečo dekarbonizovať?

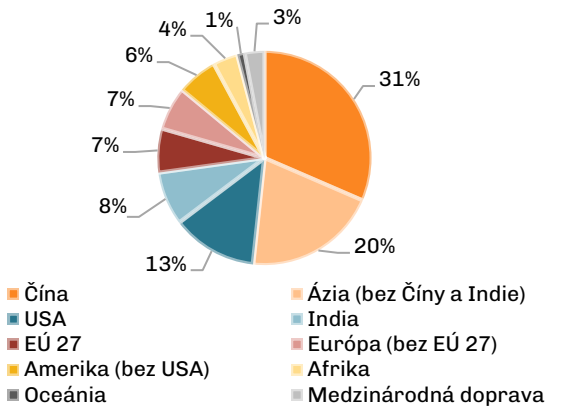
1.1 Úvod

Posledné desaťročie bolo najteplejším v histórii meraní, s priemernou teplotou vyššou o 1,25 °C oproti priemeru rokov 1850 – 1900 (WMO, 2025)**.** Najväčší nárast teplôt bol spomedzi svetadielov zaznamenaný v Európe, ktorá sa otepľuje dvakrát rýchlejšie v porovnaní s globálnym priemerom (WMO, C3S, 2023). Teploty začali stúpať s prispením ľudskej činnosti, obzvlášť v druhej polovici 20. storočia. Súčasná rýchlosť otepľovania spôsobeného človekom sa odhaduje na 0,2 °C za desaťročie (IPCC, 2019).

Zmena klímy bude mať zásadné ekonomické, sociálne, environmentálne aj zdravotné dopady. Do roku 2100 by v dôsledku zmeny klímy mohlo dôjsť k badateľnému zníženiu HDP Slovenska (Kahn et al., 2019). Podľa Svetovej zdravotníckej organizácie (WHO) spôsobí klimatická zmena medzi rokmi 2030 a 2050 najmä v dôsledku nedostatku potravín, rozšírenia chorôb a vysokých teplôt približne 250-tis. dodatočných úmrtí ročne (WHO, 2023). Zhoršenie regionálnej dostupnosti jedla, vody a suchá poľnohospodárska pôda prispievajú k zvyšovaniu nútenej migrácie (IPCC, 2022). Medzi nezvratné následky oteplenia o viac ako 1,5 °C patrí strata ekosystémov, vymieranie niektorých druhov rastlín a roztopenie pevninských ľadovcov (IPCC, 2018).

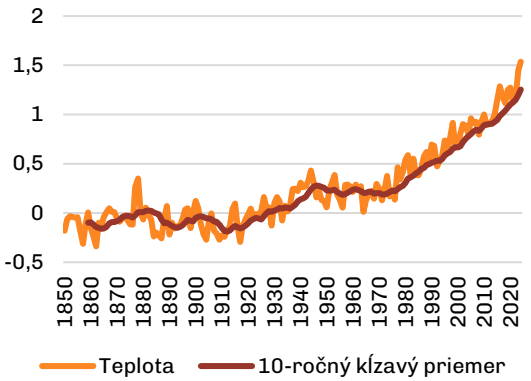
Parížska klimatická dohoda z roku 2015 stanovila cieľ dlhodobo udržať oteplenie pod 2 °C, s úsilím obmedziť ho na 1,5 °C v porovnaní s priemerom rokov 1850 – 1900. Takmer všetky krajiny sveta, vrátane celej EÚ, Číny a USA, sa ňou v roku 2015 zaviazali prijať opatrenia na znižovanie emisií skleníkových plynov oxidu uhličitého (CO_2), metánu (CH_4), oxidu dusného (N_2O) a ďalších (UNFCCC, 2015). Dohoda v roku 2019 pokrývala približne 95 % svetových emisií (UNFCCC, 2022). V súvislosti s týmto záväzkom sa EÚ[4] zaviazala dosiahnuť do roku 2050 klimatickú neutralitu[5]. EÚ v súčasnosti produkuje približne 7 % svetových emisii skleníkových plynov a v súlade so záväzkami sa očakáva, že tento podiel bude naďalej klesať.

Graf 1: Podiel svetových emisií skleníkových plynov podľa regiónov (2023)



Zdroj: Our World in Data

Graf 2: Nárast priemernej globálnej teploty oproti priemeru rokov 1850-1900 (v °C)



Zdroj: (WMO, 2025)

[4] Nariadenia Európskeho parlamentu a Rady EÚ č. 2021/1119.
[5] Klimatická neutralita znamená nulový čistý prírastok emisií skleníkových plynov, t.j. všetky vyprodukované emisie skleníkových plynov sú zachytené v lesoch a pôde, príp. umelo.

Európska Zelená dohoda predstavuje plán pre krajiny EÚ na dosiahnutie klimatickej neutrality do roku 2050. Zahŕňa politiky a iniciatívy zamerané na znižovanie emisií skleníkových plynov, ale aj podporu udržateľného rastu a transformáciu priemyslu. Okrem zelenej transformácie je jej cieľom aj zvyšovanie hospodárskej konkurencieschopnosti EÚ (Európska komisia, 2019).

V roku 2021 bol navrhnutý balík opatrení Fit for 55, ktorý sa zameriava na transformáciu dopravy, priemyslu a energetiky[6]. Balík kladie dôraz aj na praktickú realizáciu, spravodlivosť transformácie a minimalizáciu socioekonomických nákladov. Súčasne sa snaží posilniť konkurencieschopnosť EÚ, vytvárať nové pracovné miesta a zaistiť, že prechod ku klimatickej neutralite bude ekonomicky a sociálne udržateľný. Balík vznikol v nadväznosti na spoločný záväzok EÚ[7] znížiť čisté emisie skleníkových plynov do roku 2030 o 55 % v porovnaní s úrovňami z roku 1990.

Cieľom analýzy je posúdenie rozvoja Slovenska v dvoch scenároch, líšiacich sa rozsahom implementovaných nízkouhlíkových opatrení. Na úrovni Európskej komisie sa za účelom plánovania a hodnotenia dopadov politík využívajú komplexné energeticko-klimatické a makroekonomické modely. Na Slovensku boli obdobné modely použité pre tvorbu strategických dokumentov – aktualizácie Národného energetického a klimatického plánu a Nízkouhlíkovej stratégie. Použité modely identifikujú možné cenovo optimálne nízkouhlíkove trajektórie rozvoja Slovenska. Modelované scenáre berú ohľad na komplexné prepojenia v ekonomike a interakcie medzi opatreniami a líšia sa v ambíciách a rozsahu nízkouhlíkových opatrení.

Box 1: Prostriedky na dosiahnutie zelenej transformácie

Na zelenú transformáciu má SR k dispozícii európske zdroje, ako sú Plán obnovy a odolnosti, Modernizačný fond či Sociálno-klimatický fond. Plán obnovy a odolnosti cieli na reformy a investície zamerané na podporu ekonomického rastu, digitalizácie a udržateľnosti s cieľom obnoviť a posilniť ekonomiku. Časť prostriedkov je určená aj na projekty v oblastiach zelenej ekonomiky a energetickej transformácie. Modernizačný fond podporuje investície v oblasti modernizácie energetických systémov, zlepšovania energetickej efektívnosti a znižovania emisií skleníkových plynov. Sociálno-klimatický fond je zameraný na zmiernenie negatívnych sociálnych dopadov rozšírenia systému ETS o sektory budov a cestnej dopravy. Ďalšie zdroje, ktoré môžu byť čiastočne využité v oblasti zelenej transformácie, sú Environmentálny fond či Inovačný fond.

Tabuľka 1: Prehľad finančných zdrojov

Finančný zdroj	Horizont čerpania	Finančné prostriedky
Plán obnovy a odolnosti	Do 2026	2,3 (6,4) mld. EUR*
Modernizačný fond	Do 2030	3 – 4 mld. EUR**
Sociálno-klimatický fond	2026 - 2032	1,9 mld. EUR

* Zdroje určené na environmentálne projekty z celkových zdrojov v pláne

** V závislosti od ceny emisných kvót

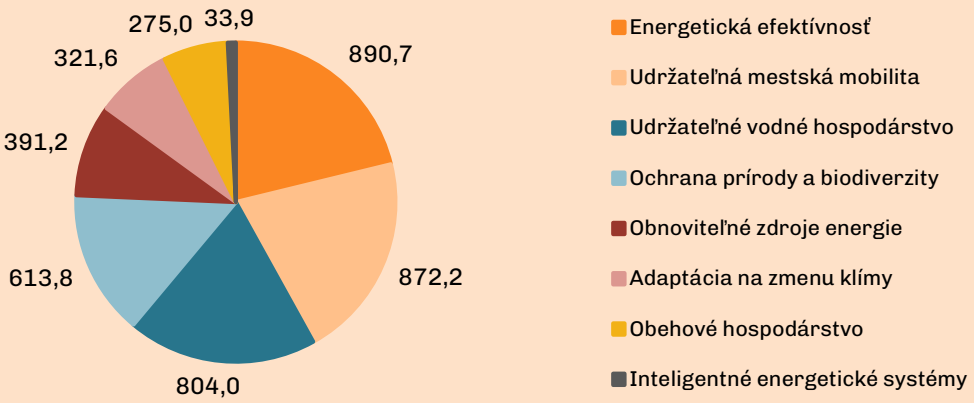
Zdroj: IEP

Kohézna politika EÚ môže poskytnúť až 4,2 mld. eur na zelený prechod a ochranu prírody. Približne 2,2 mld. eur boli naplánované pre zelený prechod, najmä na financovanie energetických úspor, obnoviteľných zdrojov či udržateľnej mestskej mobility. Ďalšie 2 mld. eur podporia ochranu prírodných zdrojov a daptáciu na zmenu klímy.

Graf 3: Plánované financovanie z kohéznej politiky EÚ (v mil. eur, 2021-2027)

[6] Viac o opatreniach balíka v Analýze vplyvov balíka Fit for 55 (IEP, 2022).

[7] V rámci Nariadenia Európskeho parlamentu a Rady EÚ č. 2021/1119.

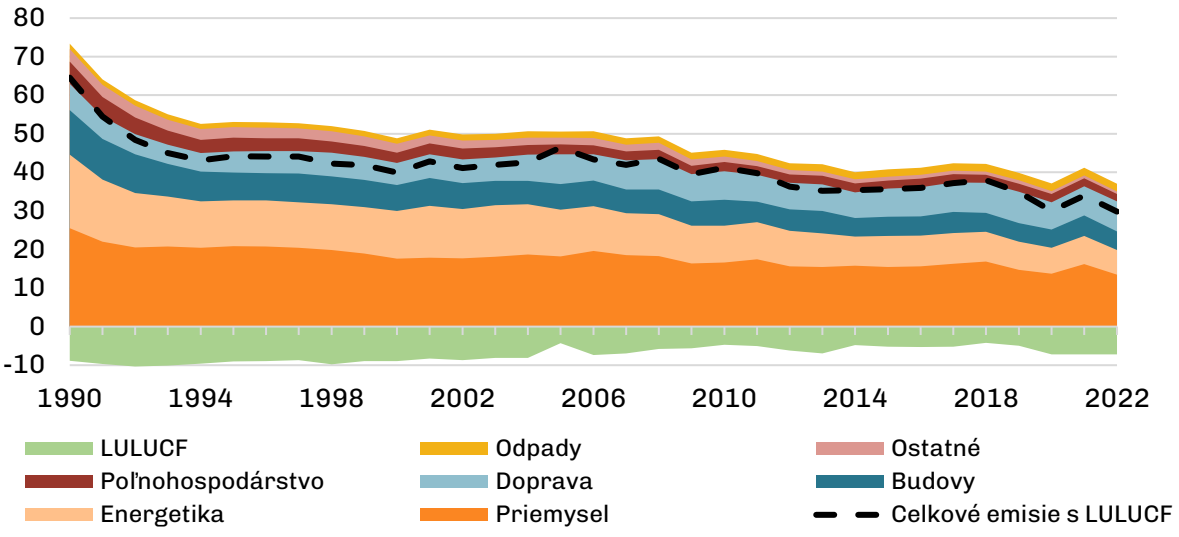


Zdroj: Európska komisia

1.2 Historické a súčasné emisie skleníkových plynov

Historický vývoj emisií skleníkových plynov (GHG) odráža zásadné ekonomické a technologické transformácie v krajine. Medzi rokmi 1990 a 2022 Slovensko znížilo ročné emisie skleníkových plynov o 53,8 %, na úroveň 29,8 Mt CO_2 ekv.[8] Pokles nastal v dôsledku postupného útlmu výroby elektriny a tepla z uhlia, modernizácie energeticky náročných priemyselných podnikov, ale aj znižovania poľnohospodárskej produkcie. Naopak, emisie rástli z cestnej dopravy a odpadového hospodárstva (SHMÚ, 2024).

Graf 4: Emisie skleníkových plynov na Slovensku (v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: SHMÚ

V sektore energetiky klesli emisie skleníkových plynov o dve tretiny, ďalší pokles by mal byť dosiahnutý v rokoch 2023 a 2024[9]. Pokles bol spôsobený najmä postupným uzatváraním uhoľných elektrární v Novákoch a Vojanoch, ktorých činnosť bola úplne ukončená na prelome rokov 2023 a 2024. K výraznému zníženiu využitia tuhých fosílnych palív prišlo tiež vo výrobe tepla. V dôsledku uzavretia uhoľných baní klesli fugitívne

[8] Vrátane záchytov.
[9] Oficiálne údaje o emisiách skleníkových plynov za rok 2023 sú k zverejnené v Národnej inventarizačnej správe (SHMÚ, 2025), v štúdii ich neuvádzame, nakoľko vyšli po úzávierke na dáta. Údaje za rok 2024 budú k dispozícii v marci 2026.

emisie[10] o 77,8 %. V súčasnosti je elektrina vyrábaná najmä z jadra a vody, zatiaľ čo teplo sa vyrába najmä zo zemného plynu a biomasy (SHMÚ, 2024).

Emisie v priemysle klesali najmä dôsledkom odklonu od uhlia a zníženia energetickej náročnosti výroby. Emisie v energetickej zložke priemyslu sa znížili o 63,2 % a procesné emisie[11] poklesli len o pätinu (SHMÚ, 2024). Po roku 1990 boli viaceré oblasti priemyslu zasiahnuté ukončením výroby najmä v dôsledku nižšej konkurencieschopnosti. Väčšina kľúčových výrobných kapacít bola privatizovaná, čo viedlo k modernizácii alebo úpadku. V prípade modernizácie prichádzalo k odklonu od tuhých fosílnych palív, ktorý naďalej prebieha. Dodatočné zníženie emisii je podmienené aj zmenou technologických postupov tak, aby sa zamedzilo produkcii CO_2 z chemických procesov.

V sektoroch dopravy a odpadového hospodárstva emisie skleníkových plynov rástli z dôvodu vyššej životnej úrovne. Dopyt po doprave a produkcia odpadov sú spojené s ekonomickým rastom. Väčšina emisií v sektore dopravy pochádza z cestnej dopravy, ich objem sa dlhodobo zvyšuje spoločne s rastúcim počtom vozidiel. Za posledných 20 rokov narástol počet evidovaných vozidiel z 1,5 mil. ks na 3,7 mil. ks (Prezídium Policajného zboru SR, 2024). Emisie z odpadov vznikajú najmä prostredníctvom únikov skládkového plynu, ktorý obsahuje vysoký podiel metánu. Od roku 2004 stúpla ročná produkcia komunálneho odpadu z 274 na 472 kg na obyvateľa (Štatistický úrad SR, 2024).

Vďaka zlepšeniu tepelno-technických vlastností budov a vysokej miere nahradenia uhlia klesli emisie v sektore budov o 58 % (SHMÚ, 2024). Prísnejšie normy pre nové budovy a renovácia starších stavieb prostredníctvom zatepľovania, výmeny okien a modernizácie vykurovacích zariadení prispeli k výraznému zníženiu energetickej spotreby. Ďalej došlo aj k odklonu od tuhých fosílnych palív, ktoré boli nahradené najmä zemným plynom a biomasou, čo viedlo k poklesu emisií skleníkových plynov.

Emisie v sektore poľnohospodárstva klesli o dve tretiny (SHMÚ, 2024)**.** Väčšinu emisií v tomto sektore tvoria emisie metánu (CH_4) zo živočíšnej výroby a oxidu dusného (N_2O) z hnojenia. V živočíšnej výrobe nastal pokles po roku 1990 najmä z dôvodu znižovania stavov hospodárskych zvierat. V rastlinnej výrobe sa znížilo využitie syntetických hnojív, ktoré boli nahradené ekologickejšími alternatívami, vypúšťajúcimi menšie množstvo oxidu dusného.

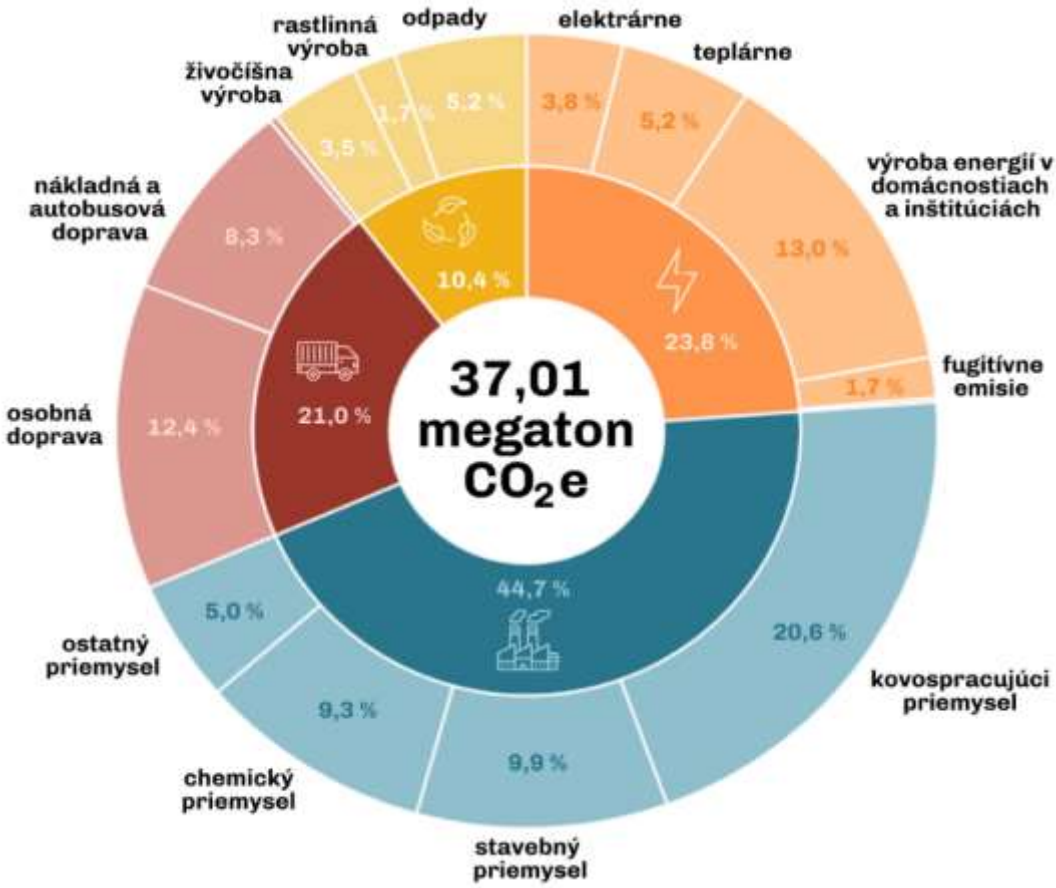
Najmä v dôsledku zmien vo vekovej a druhovej štruktúre lesov klesli záchyty v sektore LULUCF[12] o takmer 19 % (SHMÚ, 2024)**.** LULUCF je jediným sektorom, v ktorom prevládajú záchyty CO_2 nad emisiami. V súčasnosti dlhodobo klesá priemerná schopnosť lesných porastov zachytávať CO_2 najmä z dôvodu nevyrovnanej vekovej štruktúry. V optimálnom veku pre najvyššiu mieru záchytov sú najmä lesy vysadené pred 40 až 80 rokmi. Zastúpenie drevín v týchto vekových skupinách je však v porovnaní so staršími drevinami nižšie, a preto klesá schopnosť viazania CO_2. Jednou z príčin je vysoký rozsah smrekových monokultúr, ktoré odumierajú v dôsledku napadnutia lykožrútom.

[10] Fugitívne emisie skleníkových plynov sú nekontroľovateľné úniky týchto plynov do ovzdušia z netesností v zariadeniach, potrubiach alebo priemyselných procesoch. Spadajú sem aj emisie metánu uvoľneného z uhlia pri jeho ťažbe.
[11] Emisie z priemyselných procesov a využitia produktov (kategória 2 podľa klasifikácie IPCC), ktoré obsahujú najmä emisie vznikajúce z chemických reakcií, v ktorých je oxid uhličitý vedľajším produktom, ako napr. pri spracovaní železnej rudy vo výrobe ocele. Viac o priemyselných procesoch v Box 18.
[12] Z angl. *land use, land use changes and forestry*. V tejto štúdii využívame tiež zjednodušené pomenovanie lesy a pôda.

1.3 Súčasný stav emisií skleníkových plynov

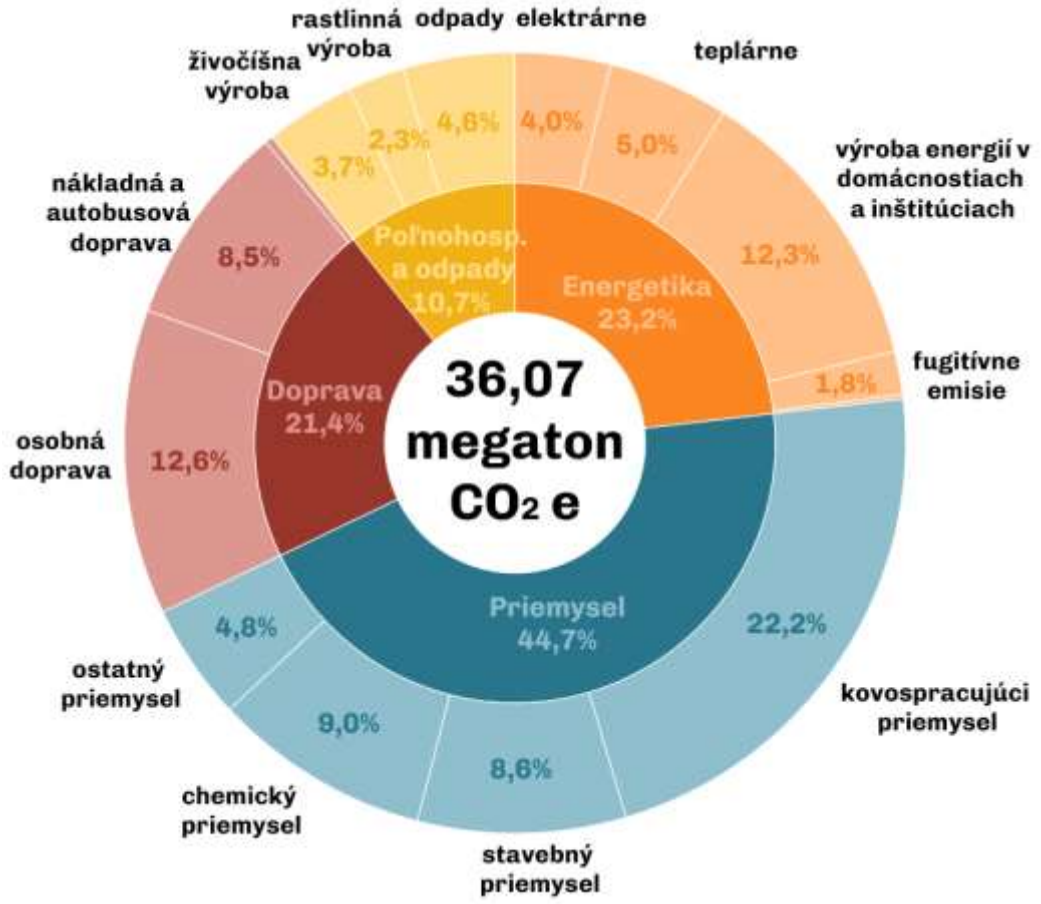
Viac ako dve tretiny emisií skleníkových plynov na Slovensku pochádzali aj v roku 2022 zo sektorov priemyslu a energetiky. Elektrina sa vyrábala prevažne z bezemisných zdrojov, najmä z jadra (59 %) a vody (15 %), zostatok emisií zodpovedal menšiemu podielu výroby z uhlia (6 %) a zemného plynu (8 %) (SEPS, 2022). Kovospracujúci priemysel, najmä výroba železa a ocele, bol zodpovedný za pätinu celkových emisií. Emisie z vykurovania pochádzali z teplární a výhrevní (v prípade centrálneho zásobovania), ale aj z domácností a inštitúcií, kde sa využíval zemný plyn, uhlie a biomasa, ktorá v prípade nedostatočného vysušenia produkuje pri horení emisie metánu. Približne pätina emisií pochádzala z cestnej dopravy, najmä z osobných a ťažkých úžitkových vozidiel. Menší podiel emisií pripadal na poľnohospodárstvo a odpadové hospodárstvo (SHMÚ, 2024).

Graf 5: Emisie skleníkových plynov v roku 2022



Zdroj: IEP podľa (SHMÚ, 2024)

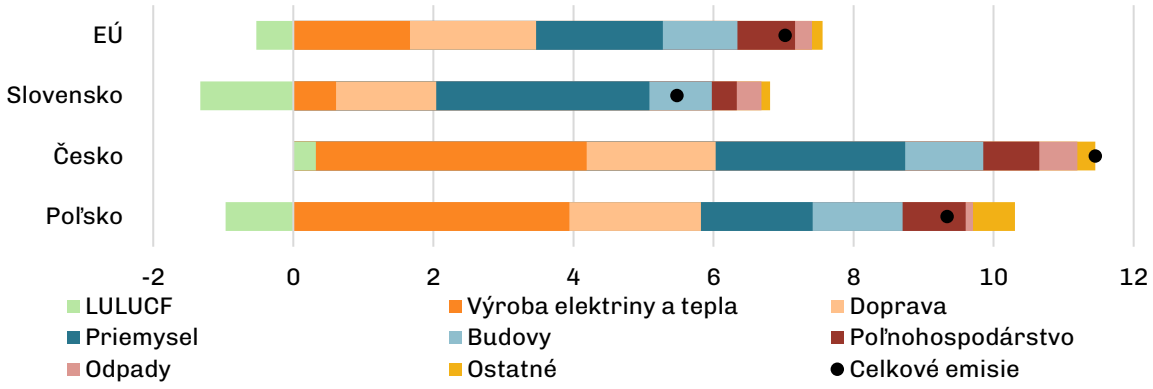
Graf 6: Emisie skleníkových plynov v roku 2023



Zdroj: IEP podľa (SHMÚ, 2025)

V roku 2022 sa na Slovensku vypustilo približne 5,5 tony emisií skleníkových plynov na obyvateľa, čo je o 22 % menej ako priemer EÚ. V porovnaní s Českom a Poľskom, kde prevláda výroba elektriny z uhlia, boli emisie z energetiky v prepočte na obyvateľa približne tretinové. Emisie z priemyselnej výroby boli výrazne nad priemerom EÚ, čo zodpovedá vysokému zastúpeniu energeticky náročného priemyslu v slovenskej ekonomike. Lesy a pôda zachytili pätinu vytvorených skleníkových plynov, čo je výrazne nad priemerom EÚ (7 %). SR v roku 2022 vyprodukovala celkovo približne 0,07 % celosvetových emisií. V rámci EÚ slovenské emisie tvoria približne 1,14 %.

Graf 7: Emisie na obyvateľa v jednotlivých krajinách podľa sektorov (2022, v t na obyvateľa)



Zdroj: (Eurostat, 2025) (UNFCCC, 2024)

1.4 Ciele SR v energetike a dekarbonizácii

Za účelom dosiahnutia klimatickej neutrality do roku 2050 sa krajiny EÚ zaviazali k spoločnému cieľu zníženia celkových emisií o 55 % do roku 2030.[13] [14] Dosiahnutie tohto cieľa zabezpečuje smernica o obchodovaní s emisnými kvótami ETS,[15] Nariadenie o spoločnom úsilí (ESR)[16] a Nariadenia o LULUCF.[17] Tieto tri nástroje spolu pokrývajú väčšinu zdrojov emisií aj možnosti ich pohlcovania, a spolu tak umožňujú EÚ splniť spoločný cieľ zníženia emisií o 55 % do roku 2030.

Do roku 2030 má EÚ zabezpečiť pokles emisií pokrytých v ETS o 62 % oproti roku 2005. Systém ETS bol zavedený v roku 2005 a pokrýva väčšie podniky v oblasti energetiky a priemyslu (viac v Box 2). Plnenie cieľa sa zabezpečuje prostredníctvom množstva emisných kvót.

Tabuľka 2: Prehľad emisných cieľov EÚ do roku 2030 a ich stav z pohľadu SR

Názov cieľa	Cieľ	Referenčná hodnota (kt CO_2 ekv.)	Cieľová hodnota (kt CO_2 ekv.)	Stav k roku 2022 (kt CO_2 ekv.)	Zníženie
Celkové emisie	–55 % oproti roku 1990	64 475	29 014	29 786	53,8 %
ETS emisie	–62 % oproti roku 2005	25 232	9 588	17 430	30,9 %

Zdroj: (SHMÚ, 2024) a (IZC, 2025)

Box 2: Systém obchodovania s kvótami (ETS)

Systém obchodovania s emisnými kvótami je jedným z hlavných nástrojov na znižovanie emisií skleníkových plynov. V súčasnosti zahŕňa najmä veľkých producentov emisií v sektoroch energetiky a priemyslu. Zapojená je tiež letecká a námorná doprava, ktorá však z pohľadu emisií SR tvorí zanedbateľnú časť.

Systém funguje na princípe *cap-and-trade*, t.j. každoročne je určený počet emisných kvót, každá zodpovedá jednej tone CO_2 ekv., ktorá môže byť vypustená do ovzdušia producentom zahrnutým do systému. Počet emisných kvót sa z roka na rok znižuje, pričom jednotliví producenti s kvótami môžu obchodovať. Z tohto dôvodu dochádza k poklesu emisií u producentov, pre ktorých je to ekonomicky výhodné. V odvetviach s vysokým rizikom únikov uhlíka – teda presunu výroby do krajín mimo EÚ, kde podniky nemajú náklady spojené s emisnými kvótami, a následného dovozu týchto produktov späť – je časť emisných kvót producentom alokovaná bezodplatne. Ich podiel sa však v budúcnosti plánuje znižovať s nástupom Mechanizmu kompenzácie uhlíka na hraniciach (z angl. *Carbon Border Adjustment Mechanism*).

Od roku 2027 má dôjsť k rozšíreniu systému ETS (tzv. ETS2) na sektory dopravy a budov, pričom zapojené budú aj menšie zdroje z energetiky a priemyslu. Do systému ETS by tiež postupne mali byť zapojené zariadenia na energetické využitie odpadu.

Do roku 2030 má SR dosiahnuť zníženie emisií pod nariadením ESR o 22,7 % v porovnaní s rokom 2005. Nariadenie reguluje emisie, ktoré v súčasnosti nespadajú pod systém ETS, teda najmä dopravu, budovy, poľnohospodárstvo a odpady, ale aj menšie priemyselné

[13] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2021/1119.
[14] Po započítaní záchytov v sektore LULUCF.
[15] Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/959.
[16] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/842.
[17] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/839.

a energetické prevádzky. Celkovo by EÚ mala do roku 2030 dosiahnuť zníženie emisií v týchto sektoroch o 40 %.

V sektore LULUCF má SR za cieľ do roku 2030 navýšiť záchyty o 504 kt CO_2 ekv. v porovnaní s priemerom rokov 2016 až 2018. Na základe Nariadenia o LULUCF[18] má EÚ do roku 2030 navýšiť záchyty na 310 Mt CO_2 ekv. ročne. Pre jednotlivé krajiny boli určené záväzné podiely, ktorými k tejto sume prispejú. V posledných rokoch SR uvedený cieľ napĺňa, no nevhodná veková štruktúra lesov môže jeho dosiahnutie v roku 2030 skomplikovať.

Tabuľka 3: Prehľad emisných cieľov SR do roku 2030

Názov cieľa	Cieľ	Referenčná hodnota (kt CO_2 ekv.)	Cieľová hodnota (kt CO_2 ekv.)	Stav (kt CO_2 ekv.)	Zníženie
ESR emisie	–22,7 % oproti roku 2005	21 137	17 885	19 452 (v roku 2022)	8 %
LULUCF emisie[19]	–504 kt CO_2 ekv. oproti priemeru rokov 2016 až 2018	–5 435	–5 939	–7 658 (v roku 2021)	–1 719 kt CO_2 ekv.

Zdroj: (SHMÚ, 2024)

Podiel obnoviteľných zdrojov na hrubej konečnej energetickej spotrebe by v EÚ mal do roku 2030 dosiahnuť 42,5 %, pričom na úrovni SR zatiaľ záväzný cieľ nebol stanovený. Túto úroveň určuje Smernica o obnoviteľných zdrojoch energie[20], schválená v roku 2023. Na základe predbežného odporúčania Európskej komisie by SR mala dosiahnuť 35 % podiel (Európska Komisia, 2023), avšak v aktualizácii Národného energetického a klimatického plánu (NECP) si Slovensko na základe výsledkov modelovania stanovilo cieľ na úrovni 25 %. V roku 2022 bol tento podiel na úrovni približne 17,5 %, pričom v posledných rokoch takmer vôbec nerástol (Eurostat, 2025). Rast v najbližších rokoch je navyše čiastočne obmedzený zvyšovaním podielu jadrovej energie, ktorá je síce bezemisná, ale za obnoviteľnú sa nepovažuje.

V doprave by mal do roku 2030 narásť podiel OZE na 29 %[21]. Táto hodnota vychádza zo Smernice o obnoviteľných zdrojoch, pričom sa do nej započítavajú biopalivá, ktoré sa v súčasnosti primiešavajú do nafty, benzínu či zemného plynu, a tiež časť elektriny vyrobená z OZE. V roku 2022 dosiahol tento podiel 8,93 % (Eurostat, 2025), pričom zodpovedal najmä využitiu biopalív v nafte a benzíne, v menšej miere išlo o využitie elektriny v železničnej a cestnej doprave.

Tabuľka 4: Ciele pre podiel obnoviteľných zdrojov do roku 2030

Názov cieľa	Cieľ	Stav v roku 2022
Podiel OZE	25 %*/35 %**	17,50 %
Podiel OZE v doprave	29 %	8,93 %

**cieľ určený v NECP, zatiaľ nie je určená záväzná hodnota* *Zdroj:* (Eurostat, 2025)

[18] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/839.
[19] Referenčná hodnota zodpovedá priemeru rokov 2016 až 2018 v emisnej inventúre z roku 2023, na základe ktorej sa vypracovali projekcie záchytov v scenári bez dodatočných opatrení. Stav k roku 2022 z emisnej inventúry 2024 je –7 226 kt CO_2 ekv. Keďže medzi inventúrami z rokov 2023 a 2024 došlo k úprave metodiky, v tabuľke úvádzame hodnotu k roku 2023 pre porovnateľnosť s výsledkami modelovania.
[20] Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/2413.
[21] Na základe čl. 25 Smernice Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/2413 každá členská krajina dodávateľom palív uloží povinnosť zaručiť, že množstvo palív z OZE alebo elektriny z OZE dodávaných v odvetví dopravy povedie k aspoň 29 % podielu OZE na KES v doprave alebo k zníženiu intenzity skleníkových plynov o minimálne 14,5 %. Na základe predbežných informácií MH SR plánuje SR do legislatívy zaviesť prvú možnosť.

**predbežné odporúčanie Európskej komisie na dosiahnutie spoločného cieľa*
(Európska Komisia, 2023)

Do roku 2030 je potrebné významne znížiť konečnú a primárnu energetickú spotrebu. K dosiahnutiu znižovania emisií skleníkových plynov významne prispieva znižovanie spotreby palív, či už na úrovni spotrebiteľa (konečná spotreba), alebo pri transformácii palív, t.j. vo výrobe elektriny, tepla či spracovaní ropy (primárna spotreba). Ciele pre rok 2030 v tejto oblasti sú určené v Smernici o energetickej efektívnosti.[22]

Tabuľka 5: Ciele v oblasti energetickej efektívnosti do roku 2030

Názov cieľa	Cieľ (TWh)	Stav v roku 2022 (TWh)
Konečná energetická spotreba	99,9	115,3
Primárna energetická spotreba	162,1	192,9

Zdroj: (Eurostat, 2025)

Box 3: Porovnanie vplyvov skleníkových plynov

Pre porovnanie vplyvov rôznych skleníkových plynov slúži jednotka CO_2 ekv. Skleníkové plyny, ako sú CO_2, CH_4, N_2O a ďalšie, sa líšia schopnosťou pohlcovať rôzne frekvencie infra-červeného žiarenia, ako aj svojou životnosťou v atmosfére. Pre vzájomné porovnanie vplyvov jednotlivých skleníkových plynov na zmenu klímy sa porovnávajú cez vplyv CO_2 na danej časovej škále. V tejto štúdii uvažujeme premenu na 100-ročný ekvivalent.

Príklad: Pri vypustení 5 ton CH_4 a 420 ton CO_2 sú vplyvy na zmenu klímy na 20 ročnom horizonte rovnaké.

Tabuľka 6: Porovnávanie vplyvov skleníkových plynov na zmenu klímy

	CO_2	CH_4	N_2O	CF_4 (chladivo)	HFC-152a (chladivo)
20 ročný ekvivalent	1	84	264	4880	506
100 ročný ekvivalent	1	28	265	6630	138

Zdroj: (IPCC, 2014)

[22] Smernica Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/1791. Ciele boli stanovené pomocou modelovania scenára EUREF 2020, viac o EUREF 2020 v kapitole 2 Technickej prílohy.

2 O modeloch

Modely sú kľúčovým nástrojom pri riešení zložitých ekonomických problémov. Cieľom využívania modelov v tejto štúdii je hľadanie nákladovo optimálnej energetickej transformácie a klimatickej neutrality.

Historická transformácia ekonomiky bola spojená s jej dekarbonizáciou. Ďalšie opatrenia si vyžiadajú multisektorové plánovanie zohľadňujúce nákladovosť. Slovensko značne dekarbonizovalo svoju ekonomiku koncom minulého storočia. Tieto zmeny boli spôsobené najmä transformáciou ekonomiky z plánovaného hospodárstva na voľný trh. Lacné a ľahko implementovateľné opatrenia, ako uzatvorenie uhoľných baní a elektrární, sa už udiali. Niektoré opatrenia sú nákladné, trvajú dlho alebo sa dotýkajú veľkej časti populácie. V takýchto prípadoch je potrebný dlhodobejší plán, ktorý minimalizuje náklady a počíta s postupným prechodom na nové technológie.

Modely umožňujú komplexne zhodnotiť dôsledky zavedenia opatrení ako aj ich kombinácií vrátane ich vzájomných interakcií. Pri narastajúcom počte opatrení rastie aj komplexnosť ich dôsledkov a ich interakcií. Priamočiare dôsledky samostatných opatrení je možné odhadnúť, ale vedlajšie dôsledky alebo interakcie s inými opatreniami môžu mať vplyv na iné časti ekonomiky alebo cieľové indikátory. Výsledky modelov, ktoré počítajú s komplexnými dôsledkami opatrení, vďaka tomu vernejšie odrážajú realitu.

Európska komisia (EK) aj vlády jednotlivých štátov využívajú modely pri navrhovaní legislatív a cieľov pre energetickú transformáciu. EK používa viaceré modely pri tvorbe európskeho referenčného scenára (EUREF), ktorý slúži ako štandardný referenčný rámec pri hodnotení politík a stanovovaní energeticko-klimatických cieľov. Na základe EUREF 2020 boli stanovené cieľe pre Slovensko v primárnej a konečnej energetickej spotrebe. Slovensko používa modely napríklad pri aktualizácii strategických dokumentov - Národného energetického a klimatického plánu a v Nízkouhlíkovej stratégii.

Slovensko využíva súbor modelov, ktorý je veľmi podobný modelovaciemu rámcu používanému Európskou komisiou. Týmito modelmi sú energetický model Compact PRIMES Slovakia (CPS), makroekonomický model GEM-E3-SK, Poľnohospodársky model a LULUCF model. Obsahuje celý energetický systém krajiny a jeho previazanie na makroekonomické ukazovatele. Celkovo pokrýva približne 98 % všetkých emisií skleníkových plynov. Modelované nie sú emisie F-plynov, ktoré vznikajú najmä vo výrobe chladničiek, klimatizácií a tepelných čerpadiel, ale sú priamo regulované, a tiež emisie zo sektorov, ktoré ich obsahujú len veľmi malé množstvá (ako napr. výroba neenergetických produktov vyrobených z palív, t.j. voskov alebo lubrikantov).

2.1 Model CPS

Energeticko-klimatický model Compact primes Slovakia (CPS) modeluje dopyt a ponuku po energiách vo všetkých energetických sektoroch. Zabezpečuje pritom stabilitu energetického systému a jeho cenovú optimálnosť s ohľadom na aplikáciu opatrení. Model CPS je vyvinutý spoločnosťou E3-Modelling a vychádza z modelu PRIMES, ktorý je používaný na tvorbu európskych referenčných scenárov (EUREF 2020). CPS určuje dopyt po energiách v celom energetickom systéme, pomáha s plánovaním investícií do

zariadení a technológií a umožňuje hodnotenie vplyvu opatrení v oblasti klímy a energetiky v päťročných intervaloch s horizontom do roku 2070.

Model simuluje rozhodnutia jednotlivých účastníkov na trhu v oblasti dopytu a ponuky energií na základe minimalizácie celkových nákladov s dodržaním stanovených obmedzení. Tento prístup vedie v podmienkach dokonalej konkurencie k riešeniu s minimálnymi nákladmi na energie pre koncových užívateľov. Ceny elektriny a tepla sú odvodené na základe trhovej rovnováhy medzi minimalizáciou nákladov na strane ponuky a cenovo elastického[23] správania dopytu po energii. Výstupom modelu sú projekcie kľúčových energetických indikátorov v jednotlivých sektoroch:

- Dopyt po energiách (z pohľadu energetickej efektívnosti),
- Využitie jednotlivých palív,
- Spotreba a využitie elektrickej energie,
- Podiel obnoviteľných zdrojov energie ,
- Emisie CO_2,
- Výška investícií, palivových a iných nákladov,
- Ceny palív a elektrickej energie pre koncového užívateľa.

Prehľad modulov CPS

Model CPS je rozdelený na niekoľko modulov vykonávajúcich rôzne časti optimalizácie. Model obsahuje štyri základné iteratívne moduly a moduly GHG a Reporting. Prvé štyri moduly sú vzájomne prepojené a vykonávané postupne v niekoľkých iteráciách za účelom dosiahnutia ekonomickej rovnováhy:

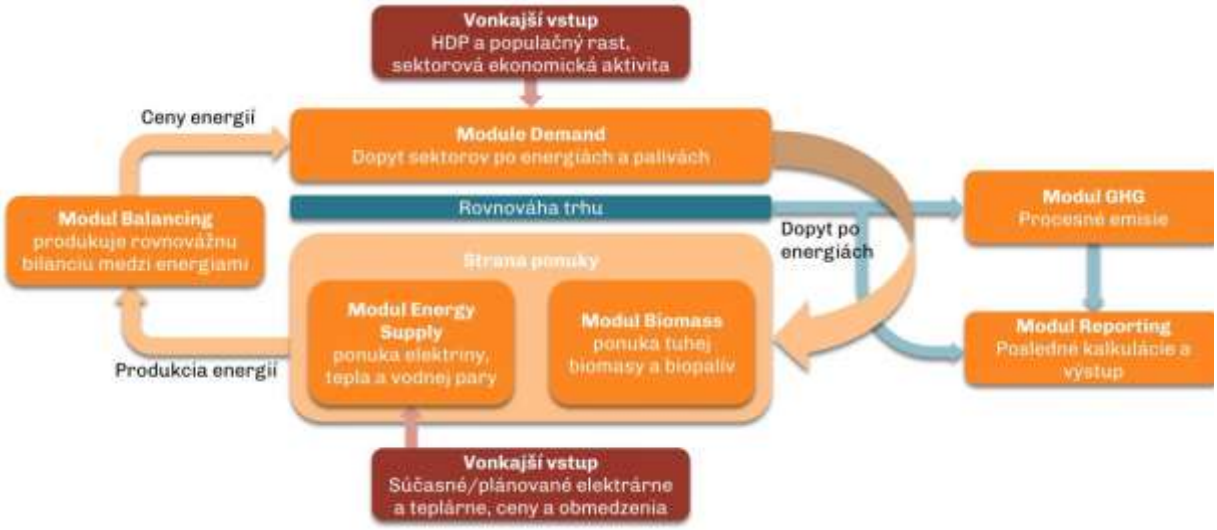
1. Modul Demand: Rozhoduje o investíciách a využívaní zariadení v dopytových sektoroch (priemysel, doprava, domácnosti, služby a poľnohospodárstvo). Jeho výstupom je energetická bilancia týchto sektorov, ktorá vytvára dopyt po jednotlivých palivách. Dopyt je následne pokrytý ostatnými modulmi.
2. Modul Supply: Na základe výsledkov predošlého modulu rozhoduje o tom, akým spôsobom je možné pokryť dopyt po elektrickej energii, teple a vodnej pare. Je zároveň detailnou reprezentáciou energetického systému SR zloženého z elektrární, teplární a výhrevní doplneného o závodné elektrárne a kotly. Súčasťou modulu je tiež výpočet cien elektrickej energie, tepla a vodnej pary, ktoré sú následne v ďalšej iterácii využité v Demand module.
3. Modul Biomass: Rozhoduje o tom, akým spôsobom sa pokryje dopyt po jednotlivých bioenergetických komoditách (pevná biomasa, biopalivá, bioplyn a pod.). Pokrýva dopyt, ktorý vzniká nielen v dopytových sektoroch (modul Demand), ale aj vo výrobe elektrickej energie a tepla (modul Supply). Súčasťou modelu je tiež výpočet cien týchto komodít, ktoré sa využívajú v ďalších iteráciách.
4. Modul Balancing: Na základe výsledkov ostatných modulov produkuje energetickú bilanciu. Jeho úlohou je zabezpečiť, aby existovala rovnováha medzi dopytom

[23] Elasticita vyjadruje zmenu v jednej ekonomickej veličine na zmenu dopytu druhej, zvyčajne cena tovaru na zmenu dopytu alebo zmena dopytu pri zmene ceny.

a ponukou, t.j. aby všetky použité palivá boli v rovnováhe s výrobou, exportom a importom.

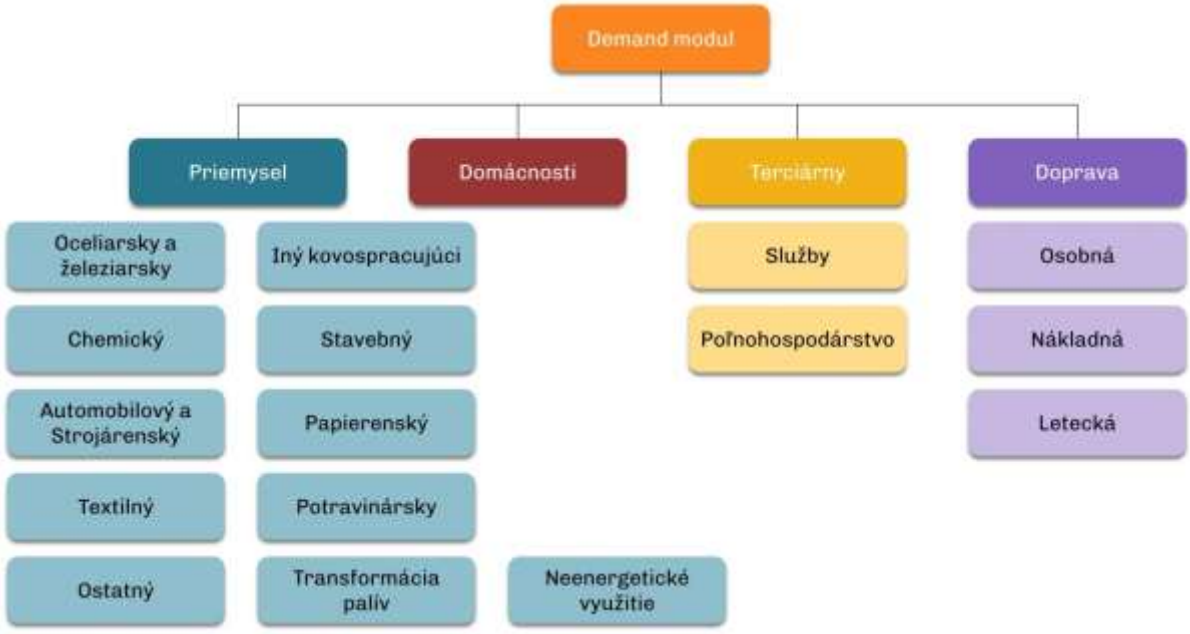
5. Modul GHG: Počíta emisie z priemyselných procesov, odpadových procesov, fugitívne emisie a emisie iných skleníkových plynov zo spotreby energií. Nie je súčasťou iteratívneho procesu, vykonáva sa až na konci modelovania, pričom využíva výstupy ostatných modulov.
6. Modul Reporting: Vytvára výstup z výsledkov modelu, pričom tiež počíta vybrané indikátory a štatistiky na základe výsledkov modelu.

Schéma 1: Iteratívny proces hľadania ekonomickej rovnováhy trhu



Modul Demand pokrýva energetickú zložku dopytových sektorov. **Je rozdelený na priemysel, dopravu, domácností a terciárny sektor (služby a poľnohospodárstvo).** Tieto sektory sú ďalej rozdelené až na úroveň jednotlivých energetických činností ako napríklad vykurovanie priestorov, varenie alebo jazda na elektrických motocykloch.

Schéma 2: Sektory pokryté modulom Demand

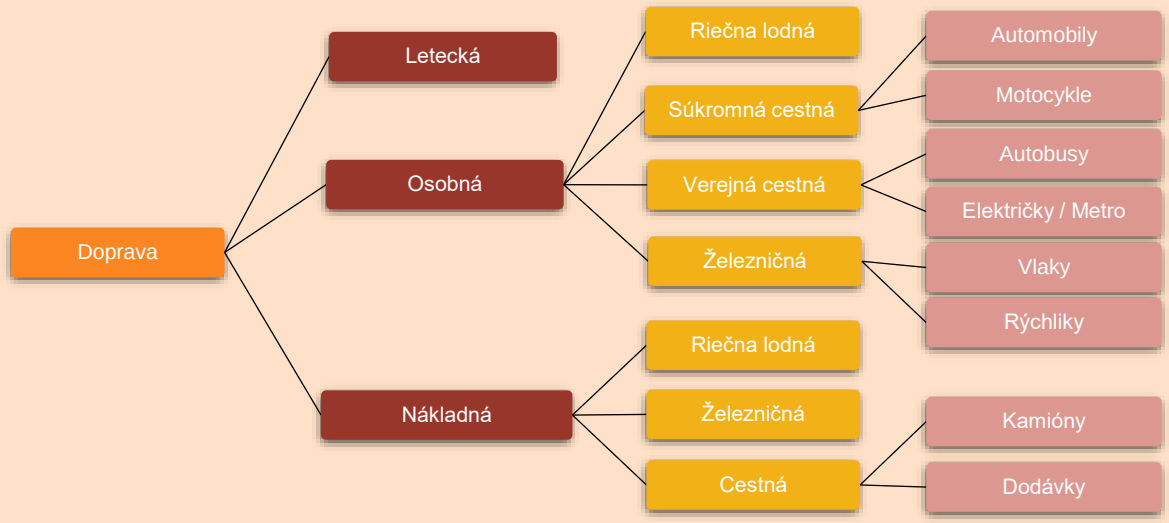


Celkový dopyt po energiách zo sektorov je daný sektorovou aktivitou a využívanými technológiami. Základným predpokladom, je, že nedochádza k plošnenému zníženiu aktivity v sektoroch, ale naopak, s celkovým navýšením. To znamená, že neprichádza k znižovaniu výkonov v doprave či službách, ani k znižovaniu produkcie v priemysle. Na trhu sú súbežne prítomné zariadenia rôznych technologií, a preto aj výsledný dopyt obsahuje pre danú aktivitu viacero rôznych palív. Tieto požiadavky sú potom v rámci iteratívneho procesu komunikované modulu Supply.

Box 4: Príklad pokrytia aktivity v sektore dopravy

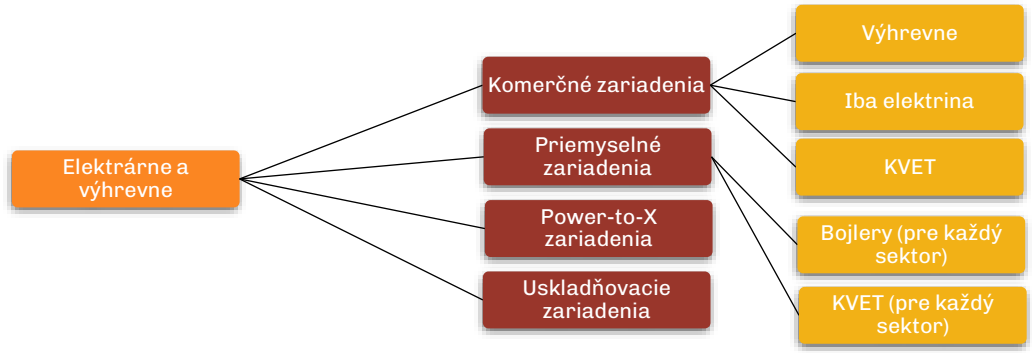
V doprave má model na vstupe dopravnú aktivitu vyjadrenú v osobo- resp. tonokilometroch, ktorú musí pokryť existujúcimi alebo novými vozidlami. Pre každú z týchto úrovní prebieha rozhodovací proces (popísaný ďalej v Box 5).

Schéma 3: Rozdelenie sektora dopravy na energetické činnosti



Na strane ponuky model pokrýva zariadenia vyrábajúce elektrickú energiu, teplo a vodnú paru. Zariadenia sú podľa vyrobených energií rozdelené na elektrárne, kombinovanú výrobu elektriny a tepla (KVET) a výhrevne. Modul tiež rozlišuje závodné zariadenia KVET a kotly pre každé z odvetví priemyslu. Okrem týchto zariadení tiež za účelom zabezpečenia stability siete využíva uskladňovacie zariadenia (batérie a prečerpávacie elektrárne) a zariadenia typu Power-to-X, v ktorých sa vyrába vodík a syntetické plyny.

Schéma 4: Zariadenia v moduli Supply



Ako sa model rozhoduje

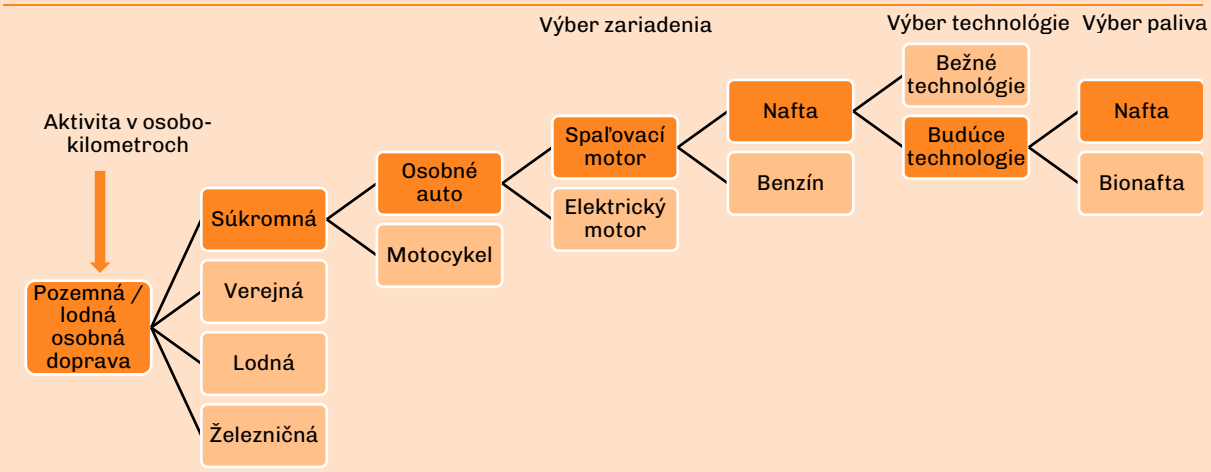
Model získava optimálne rovnovážne riešenie prepojením modulov riešiacich samostatné problémy dopytu a ponuky a následnou iteráciou riešení.

Na strane dopytu model optimalizuje rozhodnutia reprezentatívnych agentov. Agenti (reprezentanti) sú modeloví účastníci trhu (napr. domácnosti, cestovatelia či priemyselné podniky), a môžu si na základe parametrov vychádzajúcich z kalibrácie vyberať medzi dostupnými zariadeniami vhodnými pre ich danú aktivitu. Okrem cenovej dostupnosti je braná do úvahy aj elasticita trhu, t.j. špecifiká dopytu po jednotlivých technológiách a zariadeniach. To znamená, že časť trhu je pokrytá aj cenovo menej optimálnymi zariadeniami. Týmto je simulované správanie spotrebiteľov.

Box 5: Príklad výberu technológie na strane dopytu

V osobnej doprave sa agent vlastniaci automobil môže rozhodnúť zotrvať pri súčasnom vozidle (t.j. výber medzi zotrvaním a kúpou nového zariadenia), prejsť na iný typ dopravy (železničná, verejná cestná alebo lodná), iné zariadenie (motocykel), iné palivo či inú technológiu. Jedná sa o výber medzi optimálnou a aktuálnou technológiou, kde tendencia zotrvať pri akuálnej technológii je modelovaná pomocou elasticít.

Schéma 5: Príklad rozhodovacieho stromu v moduli Demand



Na strane ponuky model optimalizuje náklady energetického systému tak, aby bol pokrytý dopyt po energiách a zabezpečená stabilita prevádzky siete (počas celého roka).

Model využíva krivky dopytu po elektrine a teple s rozlíšením 64 rôznych časových profilov. Časové profily reprezentujú hodiny v rámci roka s rôznou intenzitou vetra, svietenia slnka či dopytu v dňoch pracovného voľna alebo vykurovaciu sezónu. Takto spoľahlivo reprezentujú bežný deň ako aj extrémne javy. V každom z týchto profilov je dopyt po energiách pokrytý výrobou. Týmto profilom sú priradené váhy tak, aby bol pokrytý celý rok.

Model má možnosť zapojenia nových zdrojov, prípadne predlžovania ich životnosti, zároveň je možné aj ich variabilné využitie (najmä pre zabezpečenie stability). Vyrobená elektrina a teplo pokrýva spotrebu všetkých sektorov.

Do výpočtu nákladov vstupujú technické a ekonomické charakteristiky, pričom ekonomicky sa optimalizuje celý systém, t.j. spolu s nákladmi na výrobu elektrickej

energie (kapitálové, prevádzkové, palivové a emisné) sa započítavajú aj náklady vyvolané stratami, náklady na distribučnú a prenosovú sústavu ako aj daňové náklady.

Vstupy modelu CPS

Medzi najdôležitejšie vstupy patria makroekonomické a klimatické indikátory, ceny základných palív a ich emisné faktory, technické a ekonomické charakteristiky súčasných a budúcich technológií a parametre ovplyvňujúce rýchlosť nástupu dekarbonizácie. Viac o vstupoch modelu sa nachádza v kapitole 3 o scenároch.

Box 6: Limitácie modelovania

Modelované scenáre nepredpovedajú presnú budúcnosť a od reality sa môžu líšiť. Dôvody môžu byť napríklad na základe politických, ekonomických alebo aj spoločenských zmien. Uvádzame niekoľko príkladov pravdepodobných limitácií výsledkov modelovaných scenárov oproti realite, ako ju očakávame dnes.

Jedná sa napríklad o pravdepodobné odloženie dekarbonizácie košických oceliarni z dôvodu akvizície americkej spoločnosti U.S. Steel japonskou firmou Nippon Steel. Táto akvizícia oddialila výmenu vysokých pecí za elektrické oblúkové, čím sa uvoľnili aj alokované zdroje v pláne obnovy a odolnosti. Naďalej očakávame, že dôjde k výmene pecí, avšak bude potrebné zabezpečenie nových zdrojov a dôjde k oneskoreniu oproti pôvodným predpokladom modelovaných scenárov. Podobne primárna výroba hliníka je v dôsledku vysokých cien energií stále zastavená. V modelovaných scenároch sa očakáva jej pokračovanie, no súčasný stav skôr naznačuje, že nedôjde k politickej dohode a obnova výroby nenastane.

V dôsledku zmeny v trase zásobovania zemného plynu došlo k výraznému poklesu spotreby energie v potrubnej preprave ako aj zníženiu fugitívnych emisií.

Medzi modelovanými opatreniami je aj spustenie malého modulárneho jadrového reaktora (SMR) do roku 2035. Realizácia tohto reaktora je veľmi otázna z hľadisko dostupnosti a vyspelosti technológie, jej nákladov ako aj financovania, ktoré spadá do obdobia financovania nového konvenčného jadrového zdroja.

Medzi obdobím modelovania a publikovania taktiež napríklad došlo k navýšeniu dane z pridanej hodnoty z 20 % na 23 %.

Modelovanie má aj viacero vnútorných problémov. Niektoré opatrenia sú modelované istými matematickými predpokladmi skutočnosti. Tie odrážajú realitu v najvyššej možnej miere, napriek tomu dochádza k nepresnostiam. Cena elektriny sa v modeli optimalizuje, čo nezodpovedá presne realite. Cena sa na trhu tvorí kombináciou dlhodobých kontraktov alebo na spotovom trhu pomocou marginálneho ocenenia.

Box 7: Aktualizácia a rozširovanie modelovania

Táto práca predstavuje komplexný modelovací aparát, s ktorým je do budúcnosti plánované pokračovať, vylepšovať ho a stavať na ňom ďalšie skúmanie, prehlbovanie výsledkov a budúce analýzy ako napríklad:

Výsledky uvedené v tejto práci by bolo vhodné doplniť o analýzu citlivosti na vstupné dáta, a to hlavne ceny emisných kvót, palív aj technológií. Táto analýza nebola z časových dôvodov vykonaná, ale prispela by k transparentnosti a výpovednej hodnote zverejnených výsledkov. Vo všeobecnosti odhaľuje rozptyl, v ktorom sa skutočná trajektória Slovenska bude pravdepodobne nachádzať. Taktiež napomáha identifikácii výsledkov z nestabilného rovnovážneho stavu, čím napríklad zabraňuje voľbe nevhodnej iterácie.

Určenie izolovaných efektov každého opatrenia alebo skupiny opatrení je žiadaný výstup pre presné previazanie dopadov aplikovaných opatrení so štátnymi politikami. Zároveň si vyžaduje precíznu analytickú prácu, keďže mnohé efekty prirodzene nastávajú ako synergia viacerých opatrení a ich izolácia je prinajmenšom problematická.

Výpočet vyrovnanej ceny elektrickej energie (z angl. levelized cost of electricity) na základe vstupov, ako aj výstupov modelovania. Levelized cost of electricity slúži na porovnanie zdrojov pomocou ceny vyrobenej elektriny. Levelized cost of electricity sa v dôsledku očakávaného rastu cien palív ako aj emisných kvót môže v čase meniť. Rovnako zohráva úlohu predpokladaný počet ročných operačných hodín, tieto parametre môžeme získať práve z výsledkov modelovania.

Spresnenie modelovania záchytov v lesoch bude možné pomocou Single-tree modelu, v ktorom sa modeluje rast lesných porastov v oveľa väčšom detaile, ako je obsiahnuté v tejto práci. Pri zvyšných častiach modelovania LULUCF ako sú konverzie pôd, či množstvo drevostavieb, sa neočakáva zmena prístupu.

2.2 Makroekonomický model GEM-E3-SK

Makroekonomický model (GEM-E3-SK) dopĺňa energetický model, pričom využíva podrobné výsledky z energetického modelu CPS a posudzuje ich vplyvy v rámci celého hospodárstva. Tento model patrí medzi rekurzívno-dynamické modely všeobecnej vypočítateľnej rovnováhy (z angl. Recursive-Dynamics Computable General Equilibrium)[24]. Sú v ňom zastúpení výrobcovia, ktorí minimalizujú svoje výrobné náklady, na druhej strane spotrebitelia maximalizujú svoj úžitok.

Model využíva populačno-ekonomické charakteristiky z medzinárodných makroekonomických databáz. Základnými makroekonomickými vstupnými údajmi sú najmä celková populácia, údaje o zamestnanosti, produktivite práce, medzinárodných cenách palív, predpokladanom raste HDP či očakávanej miere investícií. Tieto údaje sú kalibrované[25] a vytvárajú základný referenčný scenár.

V modeli sú jednotlivé sektory prepojené prostredníctvom vstupno-výstupných tabuliek (z angl. input-output tables), **ktoré určujú ich vzájomné makroekonomické vzťahy.** Vstupy týkajúce sa prepojenia jednotlivých sektorov vychádzajú z medzinárodnej databázy GTAP a údajov ďalších medzinárodných organizácií (napr. Eurostat, Svetová banka, OSN a pod.). Na základe prepojenia týchto sektorov je možné sledovať dopady sektorových politík na jednotlivé odvetvia a presuny aktivity (v podobe pridanej hodnoty, zamestnanosti a iných indikátorov) medzi nimi. Tieto vstupy sa využívajú aj pri modelovaní výsledkov do doložiek vplyvov v návrhoch Európskej komisie. Na prispôsobení modelu podmienkam slovenskej ekonomiky pracovali experti SAV.

Súčasťou modelu je prepojenie so zahraničnými trhmi, vďaka čomu je možné ho použiť na výpočet vplyvu politík, ktoré ovplyvňujú zahraničný obchod. Krajiny sú v modeli agregované do niekoľkých geografických celkov. Prostredníctvom vstupno-výstupných tabuliek je v modeli reprezentovaný každý sektor tak, aby podiely importu a exportu na medzinárodných trhoch zodpovedali realite. Príkladom pre využitie modelu na tejto úrovni je aplikácia uhlíkového cla.

[24] Model simuluje ekonomiku po časových úsekoch pomocou rekurzívneho dynamického CGE prístupu, kde každé obdobie predstavuje statickú rovnováhu. Výstupy ako akumulácia kapitálu, demografický vývoj či technologický pokrok ovplyvňujú budúce periódy, pričom správanie agentov nie je dopredu hľadiace. Východiskovým rokom pre simulácie je 2019.
[25] Údaje pre východiskový rok sa zhodujú so skutočnými pozorovanými údajmi Slovenska.

Model ponúka možnosť aplikácie environmentálnych daní na úrovni jednotlivých sektorov. Aplikácia emisných kvót (ETS, resp. ETS2, prípadne iný systém) na rôzne časti hospodárstva patrí medzi najzásadnejšie politiky, ktoré sú v modelovaní využívané. Dôsledkom upravenej ceny výroby jednotlivých produktov dochádza v modeli k presunu priemyselnej aktivity do iných sektorov, prípadne smerom k importu, resp. exportu.

Model simuluje využitie výnosov z environmentálnych daní v podobe sociálno-ekonomických opatrení. Výnosy môžu byť použité napríklad na posilnenie sociálneho zabezpečenia, investícií v priemysle alebo na zníženie dlhu. Rôzna miera využitia týchto opatrení následne vedie k úprave makroekonomických indikátorov (ako napr. rast HDP alebo zvýšenie spotreby domácností).

Výstupom modelu sú prognózy základných makroekonomických indikátorov, ale aj ich rozšírenie na úroveň jednotlivých sektorov. Medzi ne patria napríklad miera zamestnanosti alebo výška vyprodukovanej sektorovej pridanej hodnoty. Výsledky modelu tiež ukazujú, ako sa navzájom sektory ovplyvňujú a aké sú makroekonomické vplyvy zavedených opatrení a politík na jednotlivé odvetvia.

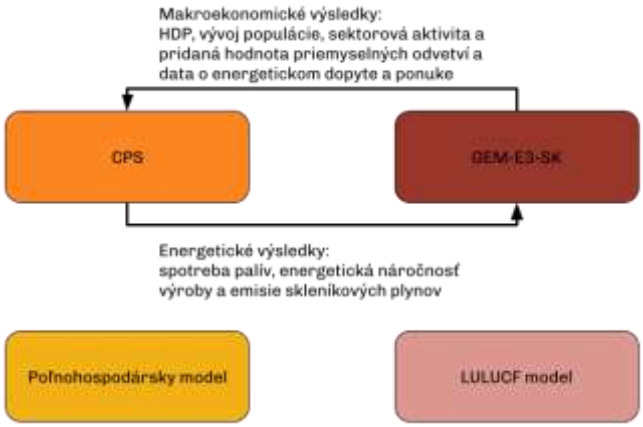
Prepojenie s modelom CPS

Prepojenie medzi modelmi GEM-E3-SK a CPS funguje obidvomi smermi. Do modelu GEM-E3-SK vstupujú výsledky z modelu CPS, ako sú energetické dopady aplikácie environmentálnych a energetických parametrov, akými sú napríklad spotreba jednotlivých palív, energetická náročnosť výroby či celkové emisie skleníkových plynov.

Model CPS využíva výstupné dáta modelu GEM-E3-SK ako vstupné dáta. Medzi hlavné výstupy, ktoré sú využívané v CPS patria:

- HDP podľa zložiek súkromnej a verejnej spotreby
- dáta o investíciách a obchode,
- dáta o ekonomickej aktivite a pridanej hodnote priemyselných odvetví a služieb,
- dáta o energetickom dopyte a ponuke.

Schéma 6: Prepojenia modelov



2.3 Poľnohospodársky model

Model v sektore poľnohospodárstva cenovo optimalizuje výber opatrení vrátane ich vzájomných interakcií v použití a kalkuluje znižovanie emisií metánu a oxidu dusného do roku 2050. Každé z opatrení má niekoľko základných parametrov, ktoré určujú rozsah možnej implementácie, výsledný efekt na znižovanie emisií a cenu za ušetrenú tonu.

Opatrenia sa aplikujú na krivky produkcie tak, že sa zachováva očakávaná produkcia polnohospodárskych produktov. Model bol vyvinutý spoločnosťou E3 Modelling na základe kriviek živočíšnej a rastlinnej výroby od Ministerstva poľnohospodárstva a rozvoja vidieka (MPRV) a Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ).

Model pri aplikácii opatrení zohľadňuje časovú a priestorovú dostupnosť a cenu za ušetrené emisie. Časová dostupnosť opatrenia je očakávaný najskorší možný termín, kedy je aplikácia opatrenia možná. Priestorová dostupnosť opatrenia určuje rozsah možnej aplikácie opatrenia. Cena za ušetrenú tonu emisií zahŕňa všetky náklady spojené s aplikáciou. Opatrenia sú aplikované na základe porovnania ceny za ušetrenú tonu emisií s cenou uhlíka v jednotlivých rokoch. Viac o parametroch jednotlivých opatrení sa nachádza v **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**.

Zoznam opatrení pre jednotlivé druhy poľnohospodárskej produkcie bol vytvorený na základe konzultácií s odborníkmi z Národného poľnohospodárskeho a potravinárskeho centra (NPPC), Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) a Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka (MPRV SR). V živočíšnej výrobe boli opatrenia rozdelené na základe živočíšnych druhov do kategórií: hovädzí dobytok chovaný na mlieko, hovädzí dobytok chovaný na mäso, ovce, hydinu a ošípané. V rastlinnej výrobe boli opatrenia zamerané na zníženie emisií z hnojív.

Základné predpoklady modelovania

Modelovanie v poľnohospodárskom modeli je postavené na základe nasledujúcich predpokladov:

- základné emisné faktory jednotlivých činností (t.j. napr. chovu ošípaných) sú určené na základe podkladov Správy o projekciách emisií skleníkových plynov 2023 (SHMÚ),
- model nepredpokladá znižovanie aktivity v poľnohospodárstve, t.j. neprichádza k znižovaniu výroby za účelom znižovania emisií,
- rok plnej dostupnosti opatrenia sa posúva tak, aby cena za ušetrenú tonu emisií bola nižšia ako predpokladaná cena uhlíka[26] v danom roku (z tohto dôvodu niektoré z opatrení nie sú využité vôbec),
- aplikačný potenciál opatrení rastie z nuly po dosiahnutie maximálneho aplikačného potenciálu (ktorý nastáva v roku plnej dostupnosti opatrenia) lineárne v priebehu 5 rokov,
- opatrenia, ktoré sa navzájom vylučujú (ako napr. použitie rôznych aditív v kŕmnej dávke), nie je možné použiť súbežne,
- v prípade kombinácie viacerých opatrení je z dôvodu možného prekryvu efektov vo vybraných prípadoch[27] celkový redukčný potenciál všetkých opatrení znížený o 20 %.

Box 8: Základné parametre opatrení v poľnohospodárstve

Každé z opatrení je charakterizované niekoľkými parametrami, ktoré sú navzájom prepojené. Keďže niektoré parametre nie sú priamou charakteristikou opatrenia, boli dopočítané na základe údajov o počtoch jednotlivých druhov živočíchov, resp. rozsahu pôdy. Najdôležitejšími parametrami opatrení sú:

[26] Cena uhlíka zodpovedá v nastavení scenárov cene kvóty ETS.
[27] Na základe konzultácie s expertom NPPC.

- Cena za ušetrenú tonu emisií[28]. Ide o dodatočný výdavok, ktorý poľnohospodár vynaloží na zníženie emisií o jednu tonu.
- Maximálny aplikačný potenciál je percento hospodárskych jednotiek daného subsektora (počet zvierat alebo hektáre pôdy), na ktoré je možné opatrenie uplatniť.
- Rok plnej dostupnosti opatrenia označuje obdobie, v ktorom môže opatrenie dosiahnuť svoj maximálny aplikačný potenciál. Z technologických a logistických dôvodov nie je možné zavádzať každé opatrenie v ľubovoľnom čase a v neobmedzenom rozsahu.

Redukčný potenciál je miera zníženia emisií pri aplikácii opatrenia na hospodársku jednotku.

Box 9: Príklad výberu opatrení v poľnohospodárskom modeli

Výber opatrení v poľnohospodárskom modeli je daný parametrami, ako je cena ušetrenej tony emisií, dostupnosť technológií, ale aj vzájomné limitácie medzi opatreniami. Napríklad v zozname opatrení pre hovädzí dobytok chovaný na mlieko sa nachádzajú nasledujúce tri opatrenia:

1. Pridanie nitrátov ako aditíva do kŕmnej dávky s cenou 20,75 eur na tonu ušetrených emisií, maximálnym aplikačným potenciálom 30 %, redukčným potenciálom 12 % a rokom plnej dostupnosti 2030,
2. Pridanie 3-nitrooxypropanolu ako aditíva do kŕmnej dávky s cenou 123,15 eur na tonu ušetrených emisií, maximálnym aplikačným potenciálom 90 %, redukčným potenciálom 20 % a rokom plnej dostupnosti 2025,
3. Pridanie koncentrátu do kŕmnej dávky s cenou 150,33 eur na tonu ušetrených emisií, maximálnym aplikačným potenciálom 70 %, redukčným potenciálom 10 % a rokom plnej dostupnosti 2032.

Plná dostupnosť opatrenia je dosiahnutá v roku keď predpokladaná cena emisných kvót prevýši cena na ušetrenú tonu emisie. Preto sa rok plnej dostupnosti pre opatrenie č.2 posunie na rok 2031 a pre opatrenie č.3 na rok 2033. Opatrenia však majú svoje nábehové krivky, ktoré určujú kedy sa začne v menšej miere využívať dané opatrenie.

Z tohto dôvodu je opatrenie č.1 prvýkrát aktivované v roku 2026. Následne je v roku 2027 prvýkrát aktivované opatrenie č.2. Vzhľadom na to, že použitie rôznych aditív v kŕmnej dávke je vylúčené, môže byť aktivované len jedno z týchto opatrení. Keďže redukčný potenciál opatrenia č.2 je vyšší, opatrenie č.1 sa deaktivuje.

Následne je v roku 2029 prvýkrát aktivované opatrenie č.3. Keďže ide taktiež o opatrenie zamerané na znižovanie emisií z enterickej fermentácie, ktoré môže mať prekryv s opatrením č.2, celkový redukčný potenciál tejto dvojice opatrení je znížený o 20 %.

Výsledné efekty sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách:

Tabuľka 7: Aplikačný potenciál vybraných opatrení podľa roku (v %)

Opatreine	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1 – Nitráty	-	6	-	-	-	-	-	-	-
2 – 3–NOP	-	-	18	36	54	72	90	90	90
3 – koncentrát	-	-	-	-	14	28	42	56	70

[28] Všetky uvedené ceny boli prepočítané na jednotnú cenovú úroveň EUR (2015) pre zachovanie ich porovnateľnosti medzi jednotlivými opatreniami.

Tabuľka 8: Aplikovaný redukčný potenciál vybraných opatrení podľa roku (v %)

Opatreine	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
1 – Nitráty	-	0,72	-	-	-	-	-	-	-
2 – 3-NOP	-	-	3,6	7,2	10,8	14,4	18	18	18
3 – koncentrát	-	-	-	-	1,4	2,8	4,2	5,6	7
Celkovo	-	0,72	3,6	7,2	*9,76*	*13,76*	*17,76*	*18,88*	*20*

* *kurzívou sú označené čísla, pri ktorých bol využitý efekt zníženia potenciálu pre kombinácie opatrení*

2.4 Model LULUCF

Model v sektore LULUCF počíta zvyšovanie záchytov emisií oxidu uhličitého na základe vybraných opatrení. Opatrenia sú aplikované na základe ich časovej a priestorovej dostupnosti. Model tiež ponúka možnosť uplatnenia opatrení na základe ich finančnej dostupnosti (porovnanie s cenou uhlíka) a možnosť navyšovania potenciálu za účelom dosiahnutia špecifických sektorových cieľov.

Základný zoznam opatrení pokrýva oblasti lesnej krajiny, ornej pôdy, trvalých trávnatých porastov, obydlí, mokradí a rašelinísk, iných pôd a výrobkov z dreva, t.j. podľa metodológie UNFCCC. Opatrenia, pre ktoré nebolo možné určiť redukčný potenciál a ceny alebo redukčný potenciál bol príliš malý, boli zo zoznamu vylúčené. Z tohto dôvodu v modeli nie sú zastúpené kategórie obydlia a iná pôda.

Základné parametre opatrení boli upravené na základe konzultácií tak, aby čo najviac odzrkadľovali podmienky SR. Opatrenia boli následne konzultované s Národným lesníckym centrom (pre opatrenia v kategórii lesná krajina a s lesmi súvisiacich opatreniach iných kategórií) a Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka (pre opatrenia v kategorii záchytov v pôde, lúkach a pasienkoch). Vzhľadom na nedostatok dostupných údajov boli do úvahy brané priemerné hodnoty jednotlivých parametrov. Hoci sa napríklad redukčný potenciál opatrenia môže počas doby implementácie meniť, pre celú dobu implementácie je použitá tá istá (priemerná) hodnota. Viac o parametroch opatrení je v Box 10. Špecificky modelovaným opatrením bola úprava ťažby dreva na základe historických hodnôt, ktorá je popísaná v Box 11.

Základom pre výber opatrení bol referenčný scenár (WEM) vypracovaný NLC a SHMÚ pre Správu o projekciách emisií skleníkových plynov 2023 (SHMÚ). Všetky opatrenia v dekarbonizačnom scenári (WAM) v modeli boli počítané ako dodatočné v porovnaní s referenečným scenárom. To znamená, že opatrenia aplikované pred rokom 2020 sa v zozname opatrení buď priamo nenachádzajú, alebo sa nachádzajú vo zvýšenej miere ako v základnom scenári.

Box 10: Základné parametre opatrení v LULUCF

Každé z opatrení je charakterizované niekoľkými parametrami, ktoré sú navzájom prepojené. Keďže niektoré parametre nie sú priamou charakteristikou opatrenia, boli dopočítané na základe údajov o rozsahu pôdy. Najdôležitejšími parametrami opatrení sú:

- Cena za ušetrenú tonu emisií[29]. Ide o dodatočný výdavok, ktorý je nutné vynaložiť na zníženie emisií o jednu tonu.
- Implementačný potenciál je veľkosť územia (v ha), resp. počet iných jednotiek, na ktorých je možné opatrenie implementovať.

[29] Všetky uvedené ceny boli prepočítané na jednotnú cenovú úroveň EUR (2015) pre zachovanie ich porovnateľnosti medzi jednotlivými opatreniami.

- Redukčný potenciál je miera zníženia emisií pri aplikácii opatrenia na hospodársku jednotku.
- Celkový redukčný potenciál bol vypočítaný ako navýšenie záchytov emisií (v kg) pri využití opatrenia na úrovni jednotky (v ha).
- Ročné jednotkové náklady sú každoročné výdavky na implementáciu opatrenia na jeden ha pôdy. V tomto parametri sú započítané aj potenciálne ekonomické straty, ak nie sú nahradené dotačnou schémou.
- Jednorazové jednotkové náklady opatrenia sú rozpočítane na jeden ha a sú určené podobne ako ročné jednotkové náklady.
- Počet rokov implementácie je čas, počas ktorého efekt opatrenia trvá.

Box 11: Úprava ťažby dreva na základe historických hodnôt

Vzhľadom na vysoký podiel záchytov z lesných porastov ide o opatrenie, ktoré môže mať najväčší dosah. Z tohto dôvodu bolo špeciálne modelované tak, aby bolo možné interpretovať záchyty, ktoré sú pomocou neho dosiahnuté. V každom zo scenárov bolo aplikované v rôznej miere, pričom modelované bolo nasledovne:

Ročné záchyty z lesných porastov zodpovedajú rozdielu medzi záchytmi, ktoré vzniknú prírastkom dreva, a emisiami, ktoré vzniknú dôsledkom jeho ťažby. Z tohto dôvodu sú kľúčovými parametrami opatrenia na záchytovej strane najmä:

- celkový bežný prírastok drevnej biomasy (v m^3/ha),
- porastová plocha lesov (v ha),
- koeficient určujúci podiel CO_2 v m^3 dreva, ktorý bol pre prírastky dreva dopočítaný pre každý rok samostatne (na základe prepočtu emisií a záchytov s využitím informácií o celkovom bežnom prírastku a ťažbe).

Na emisnej strane boli kľúčovými údajmi:

- vyťažený objem dreva (v m^3),
- koeficient určujúci hmotnosť CO_2 v m^3 dreva, ktorý berie do úvahy podiel jednotlivých druhov, stromov, rýchlosť ich rastu a podiel CO_2 v m^3 dreva.

Všetky uvedené údaje boli čerpané zo Správy o projekciách emisií skleníkových plynov 2023 (SHMÚ, 2023).

3 Prehľad scenárov

Tvorba viacerých scenárov umožňuje vzájomne porovnať vplyvy opatrení a politík, ktoré sú do nich zahrnuté, vrátane dopadov na plnenie cieľov. Výber opatrení zodpovedá rôznym mieram ambície, čo umožňuje hodnotenie už prijatých a očakávaných politík a opatrení, ako aj doteraz neurčených politík, ktoré sú potrebné pre splnenie navrhovaných národných cieľov.

Model je kalibrovaný na rok 2019. Príprava modelu pre aktualizovanú verziu NECP sa začala v roku 2023. V tomto roku dosupné údaje pre roky 2020 a 2021 nereprezentovali bežný chod ekonomiky, preto bol zvolený rok 2019 ako kalibračný. Oproti NECP sa výsledky tejto štúdie mierne odlišujú, nakoľko bolo odstránených niekoľko malých nedostatkov modelu a kalibrácie.[30]

Modelované boli tri scenáre s rôznou mierou ambície:

Základný scenár WEM (z angl. *with existing measures*) predstavuje pokračovanie existujúcich opatrení a politík. Ide o referenčný scenár vychádzajúci z aktuálneho stavu a smerovania energetického systému a predpokladaného makroekonomického vývoja do roku 2050. Opatrenia modelované v tomto scenári odzrkadľujú stav platnej legislatívy a zámerov ku koncu roka 2021. Je využívaný na porovnanie s ďalšími (dekarbonizačnými) scenármi. Účelom tohto scenára je ukázať budúci vývoj, ktorý je realistický bez prijatia ďalších opatrení. Z tohto dôvodu scenár nemá špecifické dlhodobé ciele a ambície.

Dekarbonizačný scenár WAM (z angl. *with additional measures*) má za cieľ dosiahnuť klimatickú neutralitu v roku 2050. Z krátkodobého hľadiska scenár nemá žiadne konkrétne ciele. Vychádza zo všetkých aktuálne prijatých, alebo navrhovaných opatrení a investícií v balíku Fit for 55 v rokoch 2022 a 2023 a nástrojov ako Modernizačný fond. Modelovanie sa ukončilo pred aktualizáciou NECP. Z dlhodobého hľadiska scenár berie ohľad na štátom zverejnené stratégie a plány (ako napr. plánované investície do jadrových zdrojov), pričom využíva aj dodatočné predpoklady, ktoré doteraz nemajú formu navrhovaných politík (ako napr. primiešavanie bezemisných plynov do potrubnej plynovej zmesi).

Superambiciózny scenár SWAM demonštruje splnenie navrhovaných cieľov Európskej Komisie (EK) v oblasti obnoviteľných zdrojov energie, energetickej efektívnosti a emisií pre rok 2030. Ide o dodatočný scenár, vytvorený za účelom preskúmania potreby dodatočných opatrení pre splnenie uvedených cieľov. V dlhodobom horizonte (po roku 2030) nemá scenár SWAM žiadne navýšené ambície v porovnaní so scenárom WAM a smeruje ku klimatickej neutralite.

Spoločné predpoklady scenárov

Naprieč scenármi sú predpokladané totožné hodnoty pre parametre, ktoré nezávisia od aplikácie environmentálnych opatrení. Scenáre teda porovnávajú efekty balíkov dekarbonizačných opatrení a oddelujú tieto efekty od všeobecného trendu.

[30] Výsledky sa líšia v priemysle, kde sa upravovalo rozloženie priemyselných sektorov do ETS, opravoval sa podiel biozložiek v pohonných hmotách, aby zodpovedal zákonu č.309/2009 podľa účinnosti k 31.12.2021 (WEM), resp. 31.12.2023 (WAM), a vykonali sa drobné úpravy v reportovaní potrubnej plynovej zmesi.

Makroekonomické indikátory

Základnými vstupmi sú projekcie hrubého domáceho produktu od Európskej komisie (DG ECFIN) a projekcia demografického vývoja od Eurostatu (ESTAT t+10 a EUROPOP2019). Hodnoty boli konzultované s národnými expertmi z Ministerstva financií a Slovenskej akadémie vied.

Tabuľka 9: Predpoklady referenčných hodnôt základných makroekonomických ukazovateľov do roku 2050

Makroekonomický ukazovateľ	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Populácia (v mil. obyv.)	5,45	5,49	5,41	5,35	5,28	5,20	5,11
HDP (v mld. 2023 EUR)	124,7	135,8	150,5	163,3	174,3	184,6	194,1

Zdroj: Eurostat, DG ECFIN

Modelovanie nepredpokladá znižovanie priemyselnej aktivity za účelom dekarbonizácie. Vstupom do modelu CPS sú hodnoty a ukazovateľe očakávaného hospodárskeho rastu (Tabuľka 9 a Tabuľka 10), ktoré sú výstupom modelu GEM-E3-SK. Medzi údaje o aktivite patria najmä pridaná hodnota priemyselných odvetví či sektoru služieb, ale aj výkony v doprave (počet osobokilometrov, resp. tonokilometrov). Medzi vstupy tiež patrí import a export elektrickej energie. Pre ostatné palivá je zachovaná štruktúra podľa výsledného dopytu, t.j. ak dopyt po palive klesá, klesá aj jeho import. Tieto vstupy zostávajú nemenné naprieč všetkými scenármi.

Tabuľka 10: Hodnoty dát aktivity pre vybrané sektory a odvetvia

Oblasť	Jednotka	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Poľnohospodárstvo	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	2,32	2,45	2,60	2,74	2,82	2,81	2,79
Oceliarsky priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	1,08	1,39	1,37	1,39	1,4	1,41	1,42
Výroba hliníka a zliatín	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	0,34	0,43	0,44	0,47	0,48	0,48	0,48
Chemický a petrochemický priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	1,08	1,08	1,13	1,19	1,25	1,30	1,33
Stavebný priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	1,15	1,17	1,27	1,37	1,46	1,53	1,58
Papierenský priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	0,69	0,68	0,74	0,81	0,89	0,96	1,01
Potravinársky priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	1,39	1,69	1,86	2,06	2,24	2,36	2,43
Strojársky a automobilový priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	13,2	15,3	17,8	19,5	20,9	22,3	23,6

Textilný priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	1,11	0,92	0,89	0,85	0,77	0,66	0,58
Ostatný priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	4,98	4,17	4,54	4,92	5,22	5,52	5,80
Služby	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	71,8	78,7	87,4	94,7	101,4	107,8	113,8
Domácnosti	populácia (v mil. obyv.)	5,45	5,49	5,41	5,35	5,28	5,2	5,12
Osobná doprava	osobokilometre (v mld.)	48,3	52,2	58,2	62,2	64,9	66,6	67,6

Zdroj: GEM-E3-SK

Predpokladaný vplyv zmeny klímy

Na strane dopytu model berie do úvahy zmeny dopytu po jednotlivých využitiach energií, ktoré prichádzajú so zmenou klímy, t.j. napr. relatívne znížený dopyt po vykurovaní budov[31] či zvýšený dopyt po chladení.

Základné ceny palív a ich emisné faktory

Uvažujeme s medzinárodnými projekciami cien základných palív. Tento predpoklad odráža integráciu s medzinárodnými trhmi. Ceny jednotlivých komodít na medzinárodných trhoch vychádzajú z rovnakých predpokladov ako v modeli PRIMES, pričom pre rok 2025 berú do úvahy aktuálne trendy. Finálne ceny sú ďalej navýšené o spotrebné dane pre jednotlivé dopytové sektory, pričom sa zachováva ich súčasná výška. Cena každého paliva je na základe predpokladu o výške ceny kvóty ETS, resp. ETS2 a emisných faktorov navýšená ešte aj o emisné náklady.

Tabuľka 11: Predpokladaná cena komoditných palív (v 2023 eur na MWh)

Palivo	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Čierne uhlie	8,8	13,5	13,7	13,8	14,7	15,4	16,1
Ropa	44,5	67,9	67,9	67,9	71,8	77,8	86,9
Zemný plyn	17,9	58,4	49,9	49,9	49,9	49,9	52,2

Zdroj: British Petrol, Netherlands TTF

Technické a ekonomické charakteristiky zariadení

Súčasťou modelu na strane dopytu je technologický a ekonomický popis základných typov zariadení využívaných v priemysle, doprave, domácnostiach a službách. Zariadenia sú využívané na rôzne ekonomické aktivity, ako sú napríklad vykurovanie, ohrev vody, osvetlenie, ale aj osobné vozidlá či ľahké úžitkové vozidlá podľa pohonu. Každé z týchto zariadení je opísané jeho technickými parametrami ako sú spotreba jednotlivých palív, ročný nájazd vozidiel, vek a pod.. Zariadenia sú tiež popísané ekonomickými charakteristikami ako je napríklad nákupná cena, náklady na prevádzkovanie a pod. Zariadenia majú tiež šesť úrovní technológií, pre ktoré sa uvedené charakteristiky líšia.

[31] Vzhľadom k očakávanému rastu životnej úrovne vyplývajúcemu z rastu HDP na obyvateľa je všeobecný trend dopytu po vykurovaní rastúci.

Na strane ponuky sú detailne popísané charakteristiky elektrární, zariadení na kombinovanú výrobu elektrickej energie a tepla (KVET) a výhrevní. Súčasťou týchto charakteristík sú napríklad výkon zdroja, palivový mix, rok jeho zapojenia, kapitálové a prevádzkové náklady. Medzi ďalšie technické parametre patrí napríklad napríklad čas potrebný na nábeh zdroja, minimálny výkon, minimálne operačné hodiny či podiel výroby tepla a elektriny (pre zariadenia KVET).

V čom sa scenáre odlišujú

Jedným z najdôležitejších parametrov ovplyvňujúcich rýchlosť nástupu dekarbonizácie je cena emisných kvót ETS, resp. ETS2. Cena kvóty je pripočítavaná k cene jednotlivých palív v závislosti od ich emisných faktorov, čím výrazne ovplyvňuje ekonomické rozhodnutia modelu v prospech riešení, ktoré dosahujú nižšie emisie skleníkových plynov. Zároveň je v modeli možné nastaviť aj to, na aké zariadenia (a ich podiel) sa budú jednotlivé ceny vzťahovať a aké množstvo bezodplatných kvót bude dostupných v každom roku pre jednotlivé odvetvia. Týmto spôsobom je modelované uplatnenie politík v súvislosti so zavedením mechanizmu uhlíkovej kompenzácie na hraniciach.

Opatrenia je možné zavádzať aj priamou zmenou dostupností technológií či zmenou noriem. Je možné napr. zakázať kúpu nových zariadení s určitým palivom, vyradiť zariadenia, ktoré nespĺňajú technické parametre (ako napríklad staršie kotly na uhlie), či v závislosti od scenára umožniť využívanie nových technológií ako napríklad umelé zachytávanie uhlíka, vodíkový pohon v ťažkých úžitkových vozidlách alebo využitie syntetických palív.

Implementáciu opatrení je tiež možné podporiť prostredníctvom dotácií na vybrané typy zariadení. Napríklad pre zabezpečenie vyššej energetickej efektívnosti budov prostredníctvom investícií do zlepšenia opätovného využitia tepla či efektívnejších zdrojov vykurovania. Model tiež počíta s variabilnou ochotou agentov prejsť na iný typ zariadenia (ako napr. z vozidla na spaľovací pohon na vozidlo s elektrickým pohonom), pričom táto ochota môže byť dôsledkom opatrení upravená v prospech/neprospech vybranej technológie.

3.1 WEM

Predpoklady a najdôležitejšie opatrenia scenára WEM v modeli CPS

Scenár WEM obsahuje opatrenia a politiky, ktoré boli prijaté do roku 2021. Súčasťou tohto scenára sú aktuálne platné sektorové legislatívne predpisy. Niektoré z nich boli, resp. plánujú byť pozmenené návrhmi, ktoré vznikli v rámci balíka Fit for 55. Opatrenia z tohto kľúčového balíka sa v scenári WEM nenachádzajú, ale sú plne obsiahnuté v scenároch WAM a SWAM.

Zapojenie podnikov do systému ETS sa v scenári WEM v čase nemení, ale bezodplatné kvóty ustupujú aukcionovaným. Znižuje sa podiel bezodplatných kvót, ktoré v súčasnosti slúžia najmä na zachovanie konkurencieschopnosti firiem využívajúcich najlepšie dostupné technológie. Podiel bezodplatných kvót sa do roku 2030 v scenári WEM zníži na 25 % a od roku 2040 bude nulový.

Box 12: Porovnanie cien kvóty ETS medzi scenármi

Cena kvóty ETS je jedným z kľúčových parametrov ovplyvňujúcich rýchlosť nástupu dekarbonizácie v priemysle a energetike. Využívanie palív s vysokým emisným faktorom vedie k dodatočným emisným nákladom, ktoré sa v čase zvyšujú v závislosti od scenára. Dôsledkom zvyšujúcich sa emisných nákladov sú vlastníci jednotlivých zariadení motivovaní k znižovaniu emisnej náročnosti svojej výroby. To môže znamenať napr. zmenu využívaných palív, investície do nových zariadení alebo investície do energetickej efektívnosti.

Tabuľka 12: Predpokladaná cena kvóty ETS podľa scenára (v EUR (2023))

Scenár	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
WEM	35	122	134	151	167	188	209
WAM	35	122	167	247	327	407	487
SWAM	35	122	236	299	362	424	487

Zdroj: IEP podľa EK

V doprave sú v scenári WEM uvažované emisné štandardy platné v roku 2021, ktoré požadujú napr. zníženie priemerných emisií nových vozidiel o 30 až 37,5 % do roku 2030 v závislosti od triedy vozidla. Podiel biopalív v nafte a benzíne rastie len mierne – zo 7 na 8,2 % v roku 2030, pričom ďalej zostane konštantný. Dodatočné opatrenia za účelom zvyšovania počtu vozidiel s elektrickým alebo vodíkovým pohonom nie sú uplatnené.

Scenár WEM v sektore domácností a služieb očakáva pokračovanie v doterajšom tempe renovácií budov. Nie sú v ňom zavedené schémy, ktoré by zvýhodňovali investície do špecifických zariadení (ako napr. tepelné čerpadlá či efektívnejšie plynové kotly). Investície v týchto sektoroch sú motivované najmä ich finančnou návratnosťou a prirodzeným vývojom trhu v spojení s nahrádzaním starších zariadení novšími.

V energetike sa do roku 2030 predpokladá odklon od uhlia a zapojenie jadrových elektrární Mochovce 3 a 4. Scenár obsahuje ukončenie ťažby uhlia na Hornej Nitre a ukončenie výroby elektrickej energie v uhoľných elektrárňach vo Vojanoch a Novákoch. Modelované je aj nahradenie dvoch blokov jadrovej elektrárne v Jaslovských Bohuniciach novým jadrovým zdrojom po ukončení ich životnosti približne v roku 2044. Súčasťou opatrení v scenári sú niektoré z plánovaných alebo už uskutočnených modernizačných procesov v najväčších tepláreňach a nahradenie výroby tepla súvisiace s vypnutím kombinovanej výroby elektrickej energie a tepla v Novákoch.

Zoznam opatrení scenára WEM v modeli CPS sa nachádza v prílohe.

Predpoklady scenára WEM v poľnohospodárstve a LULUCF

V poľnohospodárskom modeli sú v scenári WEM aplikované opatrenia, ktoré sú už v súčasnosti (rok 2023) čiastočne implementované. Základné predpoklady scenára sú nasledovné:

- maximálny aplikačný potenciál mnohých opatrení zo zoznamu je výrazne znížený (t.j. opatrenie sa môže využívať len čiastočne), prípadne nulový (t.j. opatrenie nie je v tomto scenári využívané) (príklad v Tabuľka 13),
- predpokladaná cena uhlíka rastie iba mierne (na základe predpokladov Európskej komisie pre scenár WEM).

Tabuľka 13: Maximálny aplikačný potenciál vybraných opatrení v scenároch WEM a WAM (v %)

Kategória	Názov opatrenia	WEM	WAM
HD* - mliečny	Zlepšenie dlhovekosti dobytka	0	80
HD* - mliečny	Pridanie aminokyselín ako aditíva do kŕmnej dávky	25	50
HD* - mäsový	Nahradenie uhľohydrátov v kŕmnej dávke nenasýtenými tukmi	65	65
Hydina	Denné odstraňovanie trusu	8	80
Ošípané	Anaeróbna digescia hnoja pre produkciu bioplynu	80	80
Pôda	Precízne poľnohospodárske techniky	0	48

**Hovädzí dobytok*

V modeli LULUCF sa pre scenár WEM ráta s podobnou úrovňou obnovy lesa aj historickým trendom konverzie plôch. Scenár je prevzatý z podkladov Správy o projekciách emisií skleníkových plynov 2023 (SHMÚ), ktoré vypracovalo Národné lesnícke centrum. Miera obnovy lesa bude podobná ako pred rokom 2020 a zachová sa historický trend konverzií plôch – t.j. mierne navyšovanie lesných pôd a obydlí na úkor pasienkov a ornej pôdy. V scenári sú započítané opatrenia implementované najneskôr v roku 2020.

Úplný zoznam opatrení v sektoroch poľnohospodárstva a LULUCF sa nachádza v prílohe.

3.2 WAM

Scenár WAM obsahuje širokú škálu zavedených opatrení vo všetkých sektoroch až do roku 2050 a smeruje k uhlíkovej neutralite. V scenári sa modelujú opatrenia, ktoré boli v roku 2021 považované za dodatočné a bolo potrebné ich legislatívne schválenie. Pre účely Národného energetického a klimatického plánu bolo taktiež modelovaných niekoľko dodatočných opatrení v neskorších rokoch. Zámery zverejnené po apríli 2024 nie sú modelované. Kapitola obsahuje bližší popis najkľúčovejších opatrení a politík. Kompletný zoznam opatrení sa nachádza v prílohe.

Predpoklady a najdôležitejšie opatrenia scenára WAM v modeli CPS

Scenár WAM počíta s rozšírením systému obchodovania s emisnými kvótami. V scenári je na základe novely smernice o ETS aplikované rozšírenie systému obchodovania s emisnými kvótami na sektory cestnej dopravy a budov (tento sektor obsahuje domácnosti, služby a menšie energetické prevádzky, ktoré doteraz nepatria pod systém ETS) pod názvom ETS2. Cena kvóty v ETS2 by podľa EK do roku 2030 nemala presiahnuť viac ako 45 eur v stálych cenách roka 2020. Následne sa v scenári očakáva jej navyšovanie.

Box 13: Porovnanie cien kvóty ETS2 medzi scenármi

K zavedeniu rozšírenia systému obchodovania s emisnými kvótami na sektory dopravy a budov dochádza len v dekarbonizačných scenároch (WAM, SWAM). Z pohľadu modelovania je princíp rovnaký ako pre ETS – ide o dodatočné emisné náklady využívania jednotlivých typov palív.

Tabuľka 14: Predpokladaná cena emisných kvót ETS2 podľa scenára (v 2023 eur)

Scenár	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
WEM	-	-	-	-	-	-	-
WAM	-	-	59,2	97,4	139,2	181,0	222,7
SWAM	-	-	97,3	142,5	187,7	232,9	278,1

Zdroj: IEP podľa EK

V sektore priemyslu je jedným z kľúčových opatrení transformácia košickej oceliarne. Oceľ sa má produkovať v roku 2030 vo dvoch elektrických oblúkových peciach, ktoré nahradia vysoké pece využívané v súčasnosti. Táto zmena zahŕňa aj ukončenie výroby koksu. Tretia vysoká pec ostáva v prevádzke až do roku 2045, kedy dochádza k prechodu na priamu redukciu železnej rudy. Vo viacerých odvetviach sú do roku 2030 modelované ohlásené investície z Modernizačného fondu a Plánu obnovy a odolnosti SR. Po roku 2030 sú investície v priemysle motivované najmä zvyšovaním ceny emisných kvót ETS a požiadavkami na aplikáciu najlepších dostupných techník (z angl. *best available techniques*).

Pre sektory domácností a služieb sa predpokladá výrazná podpora zvyšovania energetickej efektívnosti budov. Investície do tejto oblasti sú v súčasnosti podporované v rámci viacerých schém, ktorých pokračovanie a rozširovanie sa v tomto scenári predpokladá. Zároveň scenár aplikuje požiadavky na prechod od tuhých palív, a neskoršie zemného plynu, k obnoviteľným zdrojom energie, ktoré sú v súlade s európskou legislatívou.

Sektor dopravy predpokladá sprísňovanie emisných štandardov pre osobné automobily, ale aj ľahké a ťažké úžitkové vozidlá a autobusy. V súvislosti s plnením týchto európskych štandardov boli tiež modelované opatrenia z Akčného plánu pre rozvoj elektromobility – najmä podpora rozširovania nabíjacej infraštruktúry a zavedenie podpory nákupu elektrických vozidiel medzi rokmi 2025 a 2030. Zvýšený je tiež podiel biopalív v nafte a benzíne, ale aj biometánu v CNG a LNG. V leteckej doprave sa zas primiešava viac syntetických palív a biopalív. Model taktiež môže využívať aj iné pohonné hmoty ako vodík ak to považuje za ekonomicky výhodné.

Tabuľka 15: Podiely bio- a syntetických palív v doprave v scenároch WEM a WAM (v %)

Scenár	Palivo	2019	2025	2030
WEM	konvenčné biopalivo (nafta)	7*	7,45	7,45
WEM	konvenčné biopalivo (benzín)	3,5*	7,45	7,45
WEM	pokročilé biopalivo (nafta)	0	0,75	0,75
WEM	pokročilé biopalivo (benzín)	0	0,75	0,75
WEM	biometán (zemný plyn)	0	0	0
WEM	pokročilé biopalivo (kerozín)	0	0	0
WEM	syntetické biopalivo (kerozín)	0	0	0
WAM	konvenčné biopalivo (nafta)	7*	8,7	9,3
WAM	konvenčné biopalivo (benzín)	3,5*	8,7	9,3
WAM	pokročilé biopalivo (nafta)	0	0,5	2,1
WAM	pokročilé biopalivo (benzín)	0	0,5	2,1
WAM	biometán (zemný plyn)	0	4	14
WAM	pokročilé biopalivo (kerozín)	0	2	4,8
WAM	syntetické biopalivo (kerozín)	0	0	1,2

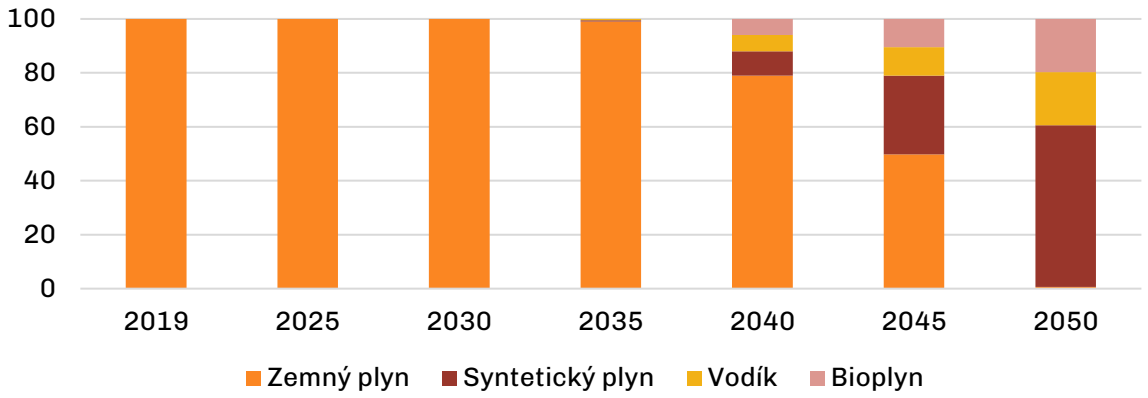
**na základe údajov Eurostatu*

Zdroj: zákon č.309/2009 podľa účinnosti k 31.12.2021 (WEM), resp. 31.12.2023 (WAM)

Od roku 2035 sa v scenári WAM uvažuje s primiešavaním syntetického plynu, vodíka a bioplynu do zemného plynu.[32] V roku 2050 dochádza v scenári WAM k takmer úplnému nahradeniu zemného plynu plynovou potrubnou zmesou zloženou takmer výhradne z bezemisných alternatív.[33]

[32] Túto zmes označujeme potrubnou zmesou, alebo potrubnou plynovou zmesou.
[33] Syntetický plyn, vodík a bioplyn.

Graf 8: Podiel jednotlivých zložiek plynovej potrubnej zmesi v scenári WAM (v %)



Zdroj: IEP podľa CPS

Scenár WAM berie do úvahy oficiálne energetické plány Slovenska a po konzultácii s Ministerstvom hospodárstva obsahuje vybudovanie dodatočných jadrových zdrojov. Očakáva sa spustenie malého modulárneho reaktora s výkonom 300 MW od roku 2035 a nového jadrového zdroja s výkonom 1 200 MW v roku 2045. Predpokladá sa predĺženie životnosti jadrovej elektrárne v Jaslovských Bohuniciach o 10 rokov, t.j. približne do roku 2054. V sektore teplárenstva sú v scenári WAM[34] zapracované modernizačné plány najväčších teplární, ktoré vedú k zmene palivovej základne do roku 2030. Sektor teplárenstva bude spadať pod systémy obchodovania s emisnými kvótami ETS.

Tabuľka 16: Modernizácia teplárenstva

Tepláreň	Scenár	Popis
Zvolen	všetky	Ukončenie využívania lignitu, prechod na biomasu od roku 2025
Košice	WAM, SWAM	Prechod z uhlia na zemný plyn od roku 2025
Košice	všetky	Geotermálny zdroj (30 MW v 2025 – 2030, následne 90 MW)
Martin	všetky	Prechod na zemný plyn a biomasu od roku 2025
Žilina	WAM, SWAM	Prechod na zemný plyn, biomasu a odpad od roku 2030
Nováky	všetky	Od roku 2025 prechod na zemný plyn a obnoviteľné zdroje

V scenári WAM sa tiež umožňujú umelé záchyty uhlíka (tzv. *carbon capture and storage*), ktoré slúži najmä na zachytenie emisií z priemyselných procesov (od roku 2040), resp. na dodatočné zníženie emisií v energetike (hlavne v roku 2050 na dosiahnutie klimatickej neutrality).

Zoznam opatrení scenára WAM v modeli CPS sa nachádza v prílohe.

Predpoklady scenára WAM v poľnohospodárstve a LULUCF

Kritériom pre výber opatrení v poľnohospodárstve je cenová dostupnosť. Základné predpoklady sú nasledovné:

- opatrenia môžu dosiahnuť svoj maximálny aplikačný potenciál, v každom roku sa využívajú všetky opatrenia, ktorých aplikácia je časovo a cenovo dostupná (t.j. najskôr v päťročnom období pred dosiahnutím roku plnej dostupnosti),
- predpokladaná cena uhlíka rastie na základe predpokladov Európskej komisie pre cenu emisnej kvóty ETS pre scenár WAM – z toho dôvodu nastane rok plnej

[34] Niektoré z modernizačných plánov boli známe už v roku 2021, preto sú zahrnuté aj v scenári WEM tak, ako bolo v scenári WEM uvedené.

dostupnosti skôr ako v scenári WEM, t.j. nástup jednotlivých opatrení je v porovnaní so scenárom WEM urýchlený.

Scenár WAM[35] v LULUCF vychádza zo scenára WEM, ku ktorému je napočítaný efekt dodatočných opatrení. Základné predpoklady scenára sú nasledovné:

- opatrenia sa začnú využívať až v roku, kedy sa stanú cenovo dostupnými, t.j. cena za ušetrenú tonu emisií je v danom roku nižšia ako predpokladaná cena uhlíka zodpovedajúca cene kvóty ETS podľa EK v scenári WAM,
- implementačný potenciál opatrení je v roku 2050 dosiahnutý pri opatreniach konzultovaných s Národným lesníckym centrom, pre konverzie pôdnych druhov sa predpokladá dvojnásobná konverzia v emisne prospešnom smere, pri ostatných opatreniach je implementačný potenciál výrazne znížený,
- implementácia opatrení v rokoch 2025 a 2030 zodpovedá plánom Spoločnej poľnohospodárskej politiky a Národného lesníckeho plánu v prípadoch, keď sú dané opatrenia v týchto dokumentoch uvedené,
- základný trend nástupu využívania opatrení je lineárny, mierne spomalený do roku 2030 a mierne urýchlený v roku 2050.

3.3 SWAM

V porovnaní so scenárom WAM scenár SWAM dosiahne aj ciele stanovené pre rok 2030 v oblasti OZE a energetickej efektívnosti. Preto je potrebná vyššia ambícia v jednotlivých sektorových opatreniach. Pre rok 2030 je výrazne navýšená cena kvót ETS a ETS2 (viac v Box 12 a Box 13), ktorá významne ovplyvňuje výber využívaných palív v zariadeniach na strane dopytu aj ponuky.

V doprave je potrebná výrazná podpora prechodu na elektromobilitu, ktorá zahŕňa vysokú finančnú podporu predaja vozidiel a výstavby infraštruktúry, zvýšenie dostupnosti elektrických vozidiel (najmä nižšej a strednej triedy) na strane ponuky a výrazné nefinančné vplyvy (napr. behaviorálne kampane a pod.). Spolu s rozvojom elektromobility je v scenári modelované aj navýšenie využívania pokročilých biopalív (až 5,5 % energetického obsahu v roku 2030) v nafte a benzíne. Kľúčovým prostriedkom je tiež zavedenie prísnejších emisných štandardov pre osobné, ale aj nákladné vozidlá.

Sektor domácností a služieb je v scenári SWAM ešte výraznejšie podporovaný v investíciách do energetickej efektívnosti budov, t.j. najmä do zatepľovania a výmeny okien formou sprísnených energetických noriem nielen pre nové, ale aj pre existujúce stavby. Zároveň je modelované aj zjednodušenie procesov vedúcich k uskutočneniu investície za účelom zvýšenia ochoty modelových agentov investovať. Podobné zmeny sa týkajú tiež investícií do energetickej efektívnosti v priemysle, ktoré sú tiež podmienené prísnejšími energetickými štandardmi.

Scenár SWAM je spojený s rýchlejším nástupom obnoviteľnách zdrojov v elektroenergetike. Za účelom navyšovania podielu OZE vo výrobe elektrickej energie boli v tomto sektore zvýšené požiadavky na export elektrickej energie spolu so znížením

[35] Vo výpočtoch tento scenár figuruje ako scenár WAM_B.

operačných hodín jadrových elektrární. Zároveň boli modelované aj výraznejšie investície do znižovania strát v prenosovej a distribučnej sústave.

V ambicióznom scenári SWAM sa dosahuje aj cieľ európskej regulácie o LULUCF, t.j. nárast záchytov v roku 2030 o 504 kt CO_2 v porovnaní s priemerom rokov 2016 až 2018. Dôsledkom tohto nastavenia sa výrazne menia aj predpoklady:

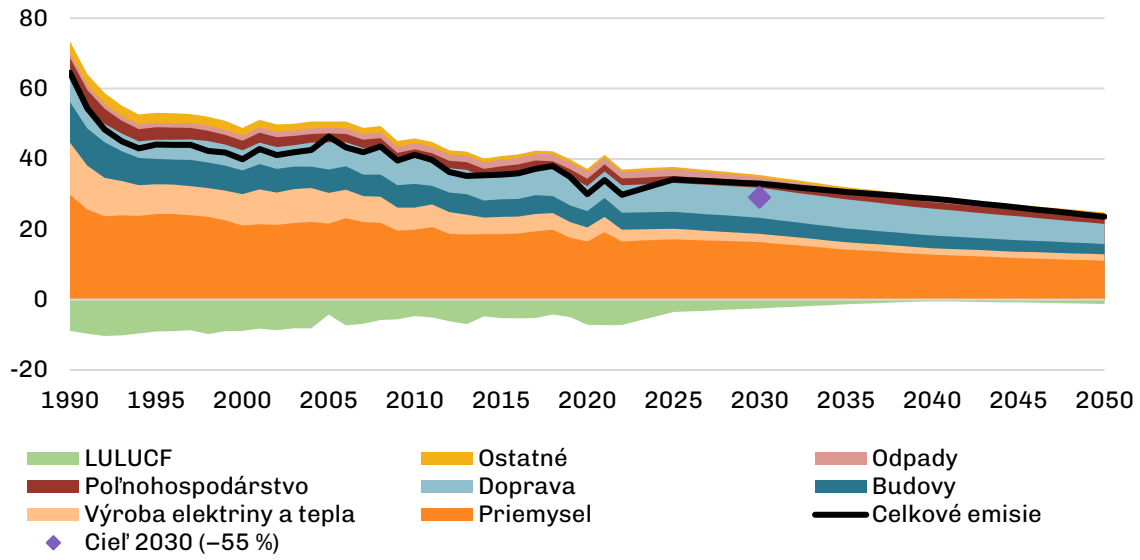
- nástup opatrení je do roku 2030 zrýchlený, to znamená, že v roku 2030 sa opatrenia využívajú vo vyššej miere ako v ostatných scenároch,
- využitý implementačný potenciál pri vybraných opatreniach je navýšený (napr. pre poľnohospodárske opatrenia či konverzie),
- podobne ako v scenári WAM bolo pridané opatrenie „Úprava miery obnovy lesa na základe realizovanej ťažby“, ktorého implementácia je v roku 2030 naviazaná na dosiahnutie cieľovej hodnoty regulácie, ktorá zodpovedá zníženiu ťažby dreva o približne 10,5 %, pričom v ostatných rokoch je zníženie v rozmedzí 6 až 10,5 %,
- v scenári sú opatrenia aplikované bez ohľadu na cenu uhlíka.

4 Základné výsledky

4.1 Emisie skleníkových plynov

V scenári WEM klesnú do roku 2050 emisie skleníkových plynov o 63,4 %[36] v porovnaní s rokom 1990. SR v roku 2050 v tomto scenári vypustí 24,8 Mt CO_2 ekv., pričom lesy a pôda zachytia len ich malú časť (1,2 Mt). K najvýraznejšiemu poklesu emisií dôjde v energetike a odpadovom hospodárstve. Veľmi výrazne klesnú záchyty v sektore LULUCF. V žiadnom zo sektorov sa emisie do roku 2050 výraznejšie nepriblížia k nule. **Pre dosiahnutie klimatickej neutrality budú potrebné dodatočné opatrenia vo všetkých sektoroch.**

Graf 9: Emisie skleníkových plynov do roku 2050 v scenári WEM (v Mt CO_2 ekv.)

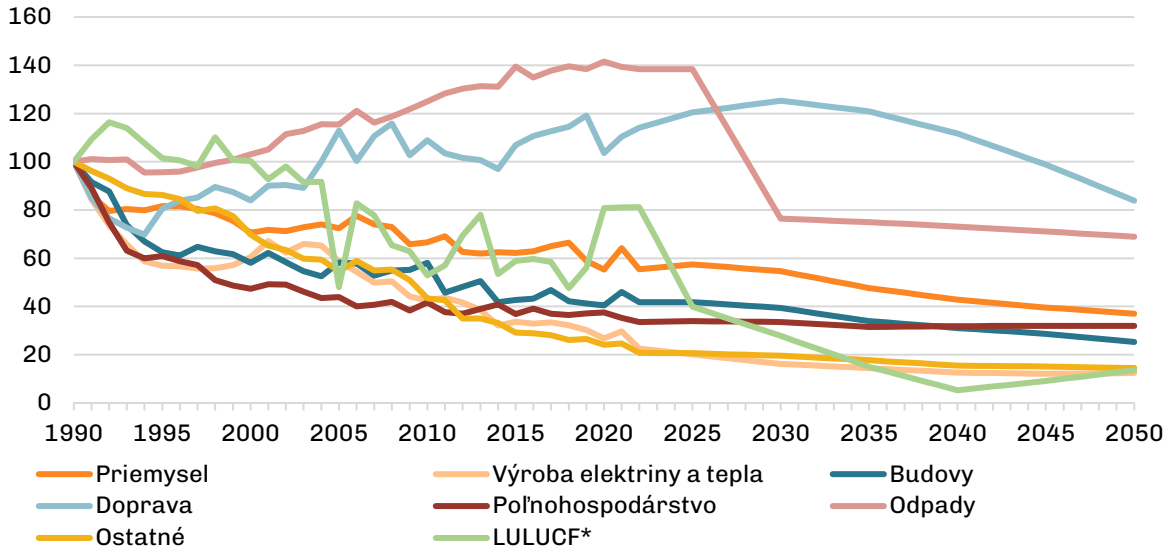


Zdroj: IEP podľa SHMÚ do roku 2022 a CPS po roku 2023

Scenár WEM v roku 2030 nesplní žiaden z klimatických cieľov. Aj z krátkodobého hľadiska je preto dôležité aplikovať politiky a opatrenia navrhnuté po roku 2021. Do roku 2030 emisie skleníkových plynov klesnú o 49,9 %[37] v porovnaní s rokom 1990. Pokles, ku ktorému došlo v pandemických rokoch, sa zastaví, pričom v dôsledku výrazného zníženia záchytov v lesoch sa jeho časť zvráti. Emisie v doprave mierne stúpnu. Nárast využitia OZE bude len minimálny a zlepšenie energetickej efektívnosti len mierne.

[36] Vrátane LULUCF
[37] Vrátane LULUCF

Graf 10: Emisie skleníkových plynov po sektoroch (1990 = 100 %, WEM)



**Zodpovedá miere záchytov CO_2* *Zdroj: IEP podľa SHMÚ do roku 2022 a CPS po roku 2023*

V dôsledku dodatočných opatrení dosahuje scenár WAM klimatickú neutralitu v roku 2050 a zároveň spĺňa indikatívny cieľ pre rok 2030. Najväčší podiel na poklese budú mať emisie z energetického využitia palív, výrazne však klesnú aj emisie z priemyselných procesov či v odpadovom hospodárstve. Dôležitý bude aj nárast záchytov, ktorý sa predpokladá v dôsledku zmien vo využívaní lesa a pôdy.

Výraznou motiváciou pre klimatickú neutralitu v sektoroch energetiky a priemyslu je najmä zvyšovania cien emisných kvót ETS. V činnostiach, ktoré sú pokryté týmto systémom, dôjde do roku 2030 k zníženiu emisií o 61,2 % oproti roku 2005, pričom v roku 2050 budú tieto činnosti, aj v dôsledku umelých záchytov, klimaticky neutrálne.

V roku 2050 bude v scenári WAM až 98 % elektrickej energie vyrobenej z bezemisných zdrojov, pričom približne polovicu z tohto podielu pokryje výroba z jadra. Výrazne sa navýši množstvo vyrobenej elektrickej energie zo slnečnej a veternej energie. Nízke množstvo elektrickej energie zo zemného plynu sa bude používať na regulačné účely. Teplo v centrálnom zásobovaní bude pochádzať najmä z biomasy a zemného plynu. Znížia sa tiež fugitívne emisie v dôsledku ukončenia ťažby uhlia a nižšej spotreby zemného plynu.

Vypustené emisie v priemysle klesnú o viac ako 92 % oproti roku 1990 najmä v dôsledku výmeny všetkých troch vysokých pecí v oceliarskom priemysle, elektrifikácie a postupného primiešavania bezemisných alternatív do zemného plynu. Zásadný vplyv v oblasti emisií z priemyselných procesov tiež bude mať zavedenie zachytávania uhlíka v chemickom, petrochemickom a stavebnom priemysle. Všeobecným trendom bude elektrifikácia priemyslu v tých odvetviach, kde to bude možné. V ostatných prípadoch bude cieľom využívať čo najmenej tuhých palív a zemného plynu. Do roku 2030 sa zároveň výrazne znížia emisie F-plynov, pričom neskôr sa budú využívať len vo veľmi malej miere.

V sektore dopravy prichádza k takmer úplnej dekarbonizácii prostredníctvom kombinácie elektrifikácie a vyššieho využitia hromadnej dopravy. Do roku 2050 sa podarí takmer všetky vozidlá so spaľovacím pohonom v cestnej doprave nahradiť batériovými alebo vodíkovými elektrickými vozidlami. Zmena módu v doprave preto bude mať vplyv najmä pred rokom 2050, kedy sa vďaka nej zníži spotreba fosílnych palív.

Terciárny sektor zníži do roku 2050 svoje emisie o 99 % oproti roku 1990. Emisné úspory získané zlepšením energetickej efektívnosti budov a zmenou palivovej základne navyše prinesú významné zníženie nákladov na vykurovanie a ohrev vody. Investície do tepelno-technických vlastností budov dokážu priniesť výrazné úspory vo využití energie na vykurovanie. Významný vplyv tiež bude mať zvyšujúci sa počet tepelných čerpadiel, ktoré na svoju prevádzku využívajú teplo okolitého prostredia a elektrickú energiu, ktorej výroba bude v roku 2050 takmer bezemisná. Okrem čerpadiel sa tiež bude využívať biomasa a v menšej miere plynová potrubná zmes, ktorá nahradí zemný plyn.

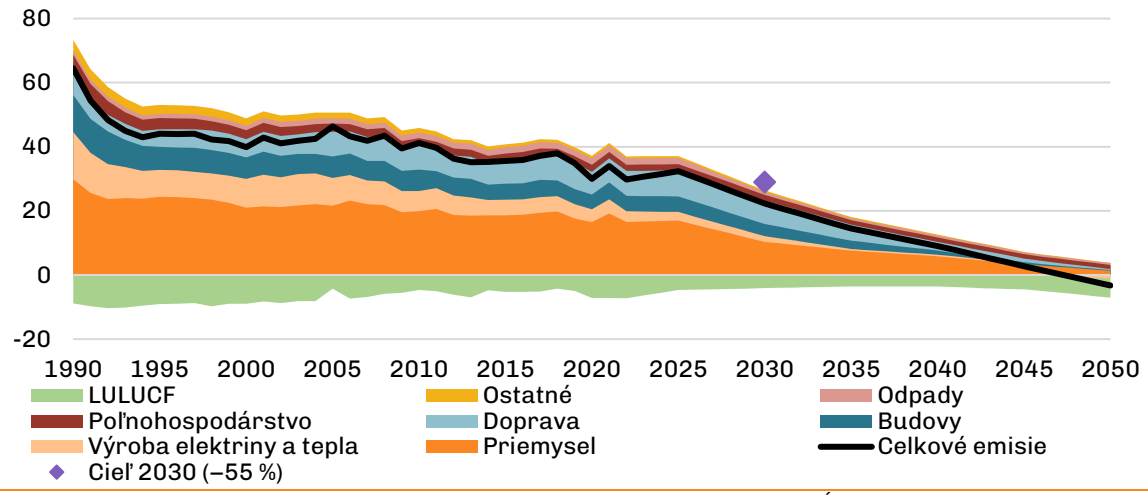
Emisie v poľnohospodárstve sa znížia oproti roku 2019 približne o polovicu. Významnejšie sa znížia emisie v živočíšnej výrobe, a to najmä v dôsledku využívania kŕmnych aditív a technológií, ktoré zabezpečujú zníženie produkcie metánu alebo urýchľujú jeho rozklad pred únikom do atmosféry. Využitie stabilnejších hnojív v spojení s vyššou efektivitou ich využitia prinesie mierne úspory emisií v rastlinnej výrobe.

Kľúčovým sektorom z pohľadu klimatickej neutrality je aj sektor LULUCF, v ktorom sa podarí vrátiť úroveň záchytov mierne nad úroveň roka 2019. Vzhľadom na nepriaznivú vekovú štruktúru lesov bude potrebné s dostatočným časovým odstupom upraviť hospodárenie v nich tak, aby rástol objem dreva, ktoré sa v nich nachádza. Výrazný vplyv tiež budú mať konverzie tzv. bielych plôch či úprava poľnohospodárskych techník so zreteľom na vyššiu mieru uchovávania uhlíka v pôde.

Emisie v odpadovom hospodárstve klesnú v scenári WAM približne o 61,6 % oproti roku 1990 najmä vďaka zavedeniu množstvového zberu a zachytávaniu skládkového plynu. Dôsledkom zavedenia množstvového zberu klesne produkcia zmesového odpadu na obyvateľa v priemere o 22 % (IEP, 2023). Prostredníctvom zachytávania a zúžitkovania skládkového plynu je možné zníženie emisii skleníkových plynov o približne 64 %[38].

Okrem znižovania množstva emisií v každom zo sektorov bude v scenári WAM aplikované aj umelé zachytávanie a skladovanie uhlíka. Jeho využitie sa očakáva najprv na úrovni procesných emisií v chemickom, petrochemickom či stavebnom priemysle, kde je koncentrácia CO_2 v komínoch vyššia. Neskôr pribudnú záchyty aj v energetike, kde sa očakáva ich využitie pri spaľovaní biomasy približne v rozsahu 1,2 Mt CO_2 ekv.ročne.

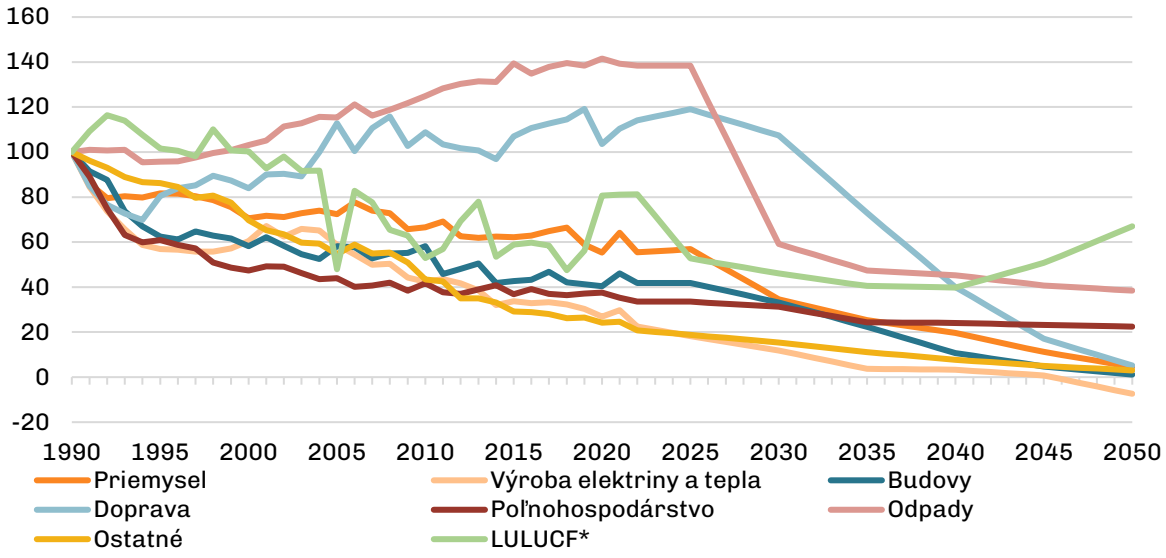
Graf 11: Emisie skleníkových plynov do roku 2050 v scenári WAM (v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa SHMÚ do roku 2022 a CPS po roku 2023

[38] Na základe údajov spoločnosti MAEN, ktorá prevádzkuje systém zachytávania plynu na 8 skládkach na Slovensku.

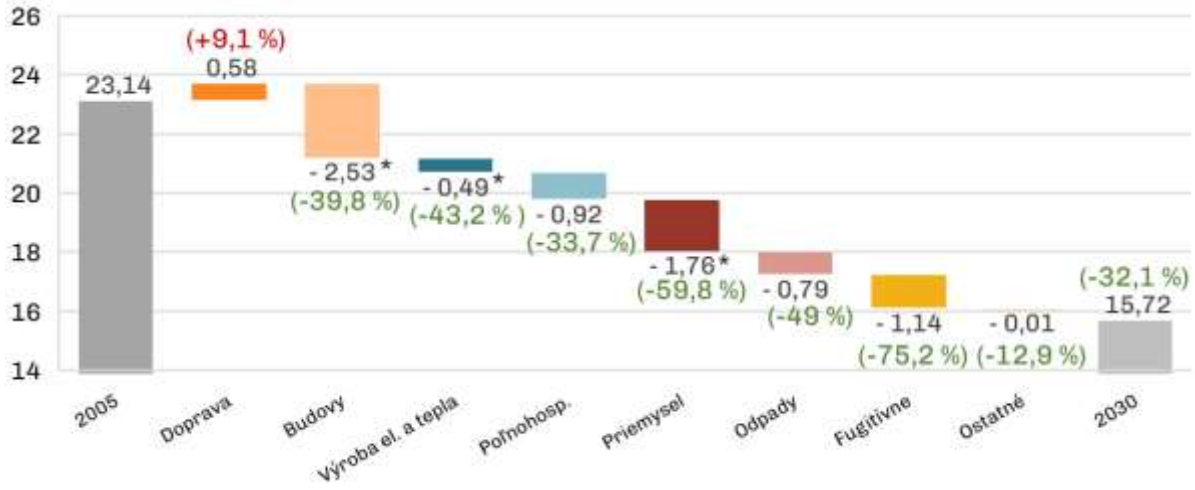
Graf 12: Percentuálna zmena emisií skleníkových plynov po sektoroch (v %, WAM)



**Zodpovedá miere záchytov CO_2* *Zdroj: IEP podľa SHMÚ do roku 2022 a CPS po roku 2023*

V sektoroch, ktoré patria pod legislatívu spoločného úsilia (ESR), dôjde do roku 2030 v scenári WAM k zníženiu emisií v porovnaní s rokom 2005 o 32,1 %, čím sa podarí splniť záväzok voči EÚ. V scenári WEM by však cieľ nebol splnený, keďže emisie by poklesli len o 20 %. Najvyšší podiel na znížení bude mať terciárny sektor, avšak kľúčovým bude tiež zastavenie nárastu emisií v cestnej doprave. Pre tieto dva sektory bude zásadným zapojenie do rozšíreného systému obchodovania s emisnými kvótami (ETS2), ktoré bude výrazným spôsobom motivovať koncových spotrebiteľov k znižovaniu emisií.

Graf 13: Emisie skleníkových plynov v sektoroch ESR do roku 2030 v scenári WAM (v Mt CO_2 ekv.) [39]



** Referenčná hodnota v roku 2005 získaná výpočtom* *Zdroj: IEP podľa CPS*

*** Sektor budov zahŕňa vykurovanie a chladenie v domácnostiach, službách, poľnohospodárskych budovách ako aj vykurovanie z CZT, ktoré nie je pokryté v systéme obchodovania s emisnými kvotami ETS.*

[39] Emisie v roku 2005 sú stanovené v Nariadení Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/842 na hodnotu 21 137 kt CO_2 ekv. Výška emisií v jednotlivých sektoroch vychádza inventúry z roku 2023, a v prípade niektorých odvetví (*) boli výsledky dopočítané. V dôsledku zmeny metodiky medzi inventúrami z rokov 2023 a 2024 poklesla úroveň emisií pokrytých ESR v referenčnom roku 2005 o 80 kt CO_2 ekv. Výsledky v roku 2030, vychádzajú z inventúry z roku 2024.

4.2 Podiel obnoviteľných zdrojov

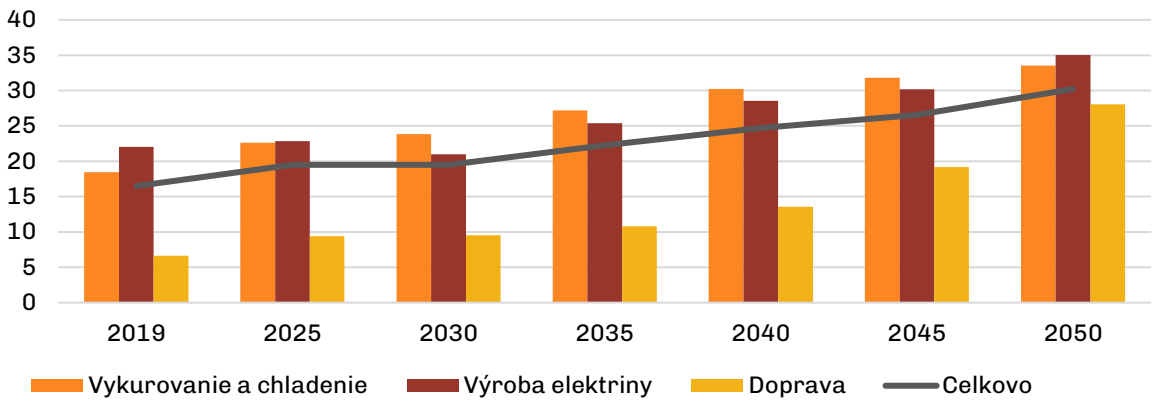
Podiel obnoviteľných zdrojov energie na hrubej konečnej energetickej spotrebe vzrastie v scenári WEM do roku 2050 na 30,2 %. Rast bude vo veľkej miere spôsobený dlhodobo sa zvyšujúcou cenovou efektívnosťou čistých energetických technológií - výroba elektrickej energie zo slnka a vetra je lacnejšia v porovnaní so spaľovaním fosílnych palív či jadrovou energiou. V doprave podobne dochádza k znižovaniu cien elektromobilov, ktorých podiel bude preto dlhodobo rásť.

Výroba elektrickej energie z OZE stúpne v scenári WEM na 35 %. Zvyšovať sa bude podiel výroby zo slnka a vetra, výkon vodných elektrární sa bude navyšovať len mierne. Spotreba biomasy vo výrobe elektrickej energie bude kolísať v závislosti od dopytu v ostatných sektoroch. Do roku 2030 tiež vzrastie množstvo využitého bioplynu, ktoré bude následne zostávať na približne rovnakej úrovni.

Vo vykurovaní a chladení bude podiel obnoviteľných zdrojov závisieť najmä od využitia biomasy a tepelných čerpadiel, pričom v roku 2050 dosiahne v scenári WEM 33,5 %. Využitie tepelných čerpadiel na vykurovanie budov bude výrazne rásť. K rastu podielu OZE prispeje aj zvyšovanie energetickej efektívnosti, ku ktorému však v scenári WEM dochádza len mierne. Navýši sa tiež využitie tepla z geotermálnych zdrojov a solárneho ohrevu.

V scenári WEM sa bude postupne čiastočne elektrifikovať cestná doprava. V roku 2050 dosiahne podiel OZE v doprave 28 %. K elektrifikácii dopravy dôjde najmä v dôsledku znižujúcich sa cien elektrických vozidiel. Bariérou pre ďalší rozvoj bude nedostatočná infraštruktúra a pomalšie osvojovanie novej technológie. Do roku 2030 mierne vzrastie podiel biopalív v nafte a benzíne, ktorý následne zostane konštantný.

Graf 14: Podiel obnoviteľných zdrojov energie na hrubej konečnej spotrebe (v %, WEM)



Zdroj: IEP podľa CPS

Box 14: Výpočet podielu OZE

Podiel OZE v tejto štúdii je v súlade s metodikou Eurostatu pre nástroj SHARES. Metodika upresňuje parametre pre výpočet, ktoré boli určené v smernici o obnoviteľných zdrojoch energie (č.2023/2413).

Základným využívaným pojmom je **hrubá konečná energetická spotreba**, ktorá okrem konečnej energetickej spotreby (definovanej vyššie) zahŕňa tiež straty pri výrobe a distribúcii tepla a tiež straty pri výrobe, prenose a distribúcii elektrickej energie. Vo výpočte je hrubá konečná energetická spotreba rozdelená na tri základné sektory:

Výroba elektrickej energie – základ (menovateľ) je tvorený hrubou výrobou elektrickej energie, ku ktorej je pripočítané saldo (t.j. rozdiel medzi importom a exportom), kým v čitateli sa nachádza množstvo energie vyrobenej z vodnej, slnečnej, veternej a geotermálnej energie spolu s energiou vyrobenou z biomasy, bioplynu a obnoviteľnej zložky odpadu.

Doprava – menovateľ je tvorený spotrebou benzínu, nafty, biopalív, zemného plynu, elektrickej energie (v železničnej a cestnej doprave), obnoviteľných palív iného ako biologického pôvodu a recyklovaných uhlíkových palív[40], v čitateli sa nachádzajú biopalivá spĺňajúce podmienky legislatívy EÚ, časť elektrickej energie, vodíka a syntetických palív, ktorá bola vyrobená z obnoviteľných zdrojov, a iné formy obnoviteľnej energie v doprave[41]. Pri výpočte podielu sú do úvahy brané rozdiely v energetickej efektívnosti jednotlivých palív, z tohto dôvodu sú hodnoty v čitateli aj menovateli násobené multiplikátormi.

Vykurovanie a chladenie – ostatná časť konečnej spotreby je započítaná v tomto sektore, ide teda o energiu využitú v priemysle, domácnostiach, službách a poľnohospodárstve. Mimo všetkých zdrojov uvedených v predošlých kategóriách sa započítava aj teplo okolia využívané v tepelných čerpadlách.

V scenári WAM sa podiel OZE výrazne navýši, v roku 2050 dosiahne 77,8 %. Kľúčové opatrenia dekarbonizácie, akými sú napr. elektrifikácia v spojení s rozvojom výroby elektrickej energie z OZE či zvyšovanie energetickej efektívnosti, vedú k navyšovaniu podielu OZE. Zároveň platí, že efekty popísané pre scenár WEM sa v scenári WAM budú uplatňovať v ešte výraznejšej miere.

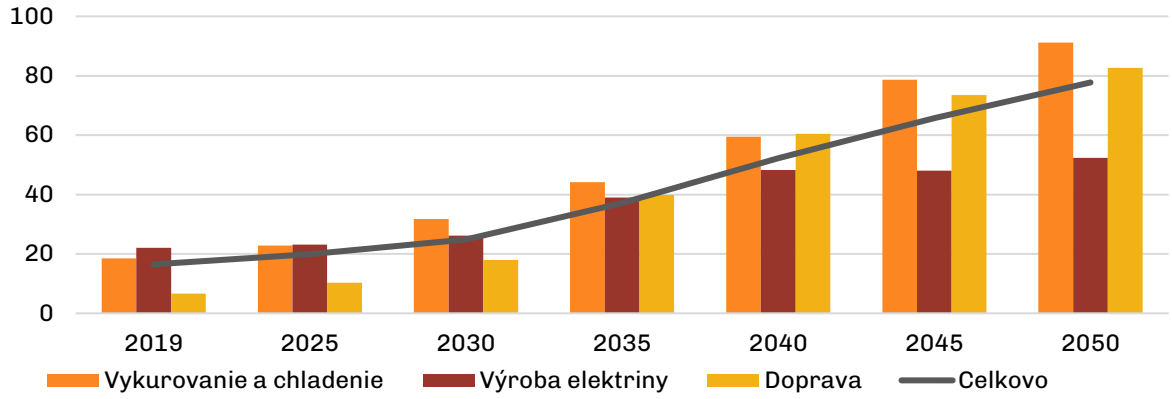
Vzhľadom na vysoký podiel jadrovej energie v energetickom mixe dosiahne podiel OZE vo výrobe elektrickej energie v scenári WAM 52,3 %. Elektrická energia v roku 2050 bude takmer výhradne vyrábaná z nízkoemisných zdrojov, výraznú časť však budeme naďalej vyrábať z jadra, ktoré nepatrí medzi obnoviteľné zdroje. Rozvoj OZE bude prebiehať najmä prostredníctvom slnečnej (11 TWh) a veternej energie (16 TWh), ktoré budú zodpovedať približne 40,6 % čistej výroby v roku 2050.

Spotreba energie v sektore vykurovania a chladenia bude v scenári WAM do roku 2050 takmer úplne (91,2 %) zabezpečená z OZE. V úvodných rokoch bude podiel rásť najmä v dôsledku postupného odklonu od využívania uhlia a investícií do energetickej efektívnosti. Výrazný vplyv bude mať elektrifikácia priemyslu (do roku 2030 najmä v oceliarskom priemysle) a navyšovanie využitia tepelných čerpadiel v budovách. Pred rokom 2050 sa následne takmer úplne ukončí využívanie zemného plynu, resp. plynovej potrubnej zmesi, pričom väčšinu dopytu už budú pokrývať elektrická energia a biomasa.

Dôsledkom elektrifikácie vzrastie v scenári WAM podiel OZE v doprave do roku 2050 na 82,7 %. Kombináciou prísnych emisných štandardov a zlepšovania ekonomickej dostupnosti elektromobility sa najmä po roku 2035 výrazne navýši podiel elektrickej energie využívanej v doprave. Časť vozidiel bude na svoju prevádzku využívať vodík, prípadne (v leteckej doprave) syntetické palivá vyrobené z elektrickej energie. Podiel OZE v doprave bude pred rokom 2050 z tohto dôvodu výrazne naviazaný na podiel OZE vo výrobe elektrickej energie. Zostávajúce vozidlá so spaľovacím motorom budú využívať vyšší podiel biopalív, avšak k úplnému ukončeniu spotreby ropných produktov nepríde.

[40] To znamená, že do menovateľa nie je započítané napr. LPG či letecký kerozín.
[41] Tieto formy v doprave nie sú prakticky vôbec zastúpené, ide o geotermálnu, slnečný ohrev, odpad a tuhé ale môžu sa započítavať do podielu OZE.

Graf 15: Podiel obnoviteľných zdrojov energie na hrubej konečnej spotrebe (v %, WAM)



Zdroj: IEP podľa CPS

4.2.1 Plnenie cieľov v oblasti OZE pre rok 2030

V prípade aplikácie už existujúcich opatrení v scenári WEM stúpne podiel OZE do roku 2030 len mierne (19,5 %). Je to najmä v dôsledku zvýšenia kapacity výroby elektrickej energie z jadra a nedostatočnej podpory rozvoja riešení využívajúcich obnoviteľné zdroje naprieč sektormi. K cieľu určenému pre sektor dopravy vo výške 29 % sa SR v scenári WEM nedokáže výraznejšie priblížiť – podiel v tomto roku dosiahne 9,5 %.

Celkový podiel OZE v roku 2030 dosiahne v scenári WAM 25 %. Napriek výraznému rastu sa tak nepodarí splniť indikatívny cieľ na úrovni 35 %. Za navýšením je najmä podpora slnečnej a veternej energie, dekarbonizácia viacerých kľúčových zdrojov v teplárenstve, elektrifikácia oceliarstva či výrazné navýšenie počtu elektrických vozidiel.

V roku 2030 dosiahne v scenári WAM podiel OZE v doprave 18 %. Ani v tomto scenári sa nepodarí dosiahnuť cieľ určený na úrovni 29 %. Nepodarí sa to napriek výraznému rozvoju elektromobility v cestnej doprave a navýšeniu podielu biopalív v nafte a benzíne na 11,4 %. Výraznejší rozvoj elektromobility je v súčasnosti obmedzený najmä vysokými kapitálovými nákladmi pri kúpe vozidla, nedostatočne rozvinutým trhom s ojazdenými vozidlami a neistotou súvisiacou s prechodom na novú technológiu[42]. Z dôvodu nižšieho tempa prekonávania týchto bariér je zvyšovanie podielu vozidiel vo flotile mierne oneskorené v porovnaní s priemerom EÚ.

Dosiahnutie cieľov pre rok 2030 v oblasti OZE by si vyžiadalo dodatočné opatrenia nad rámec scenára WAM, aj pri ich zavádzaní však môže byť problémom nedostatok technických kapacít. Pre splnenie všeobecného cieľa vo výške 35 % by bolo v porovnaní so scenárom WAM potrebné výrazne navýšiť inštalovaný výkon solárnych a veterných elektrární, nainštalovať vysoké množstvo tepelných čerpadiel pre vykurovanie budov či približne zdvojnásobiť počet elektrických vozidiel spolu s navýšením podielu pokročilých biopalív. Okrem financovania týchto zmien by bolo potrebné tiež zabezpečiť technické a ľudské zdroje, nakoľko pri inštalácii a prevádzke týchto technológií sú potrebné nielen dodatočné investície napríklad do prenosových a distribučných sietí, ale aj vyšší počet zamestnancov v oblasti elektroinštalácií či servisu elektrických vozidiel.

[42] Jedná sa najmä o behaviorálne aspekty spojené s prechodom na využitie iného pohonu. Viac sa tejto téme venuje štúdia Čisto a zbesilo (Inštitút environmentálnej politiky, 2023)

4.3 Energetická efektívnosť

V oboch scenároch do roku 2050 poklesne konečná aj primárna energetická spotreba. Je to najmä dôsledkom nahrádzania menej efektívnych palív elektrickou energiou, výmenou starších zariadení za efektívnejšie, ale aj znížením únikov tepla v budovách.

Ani jeden z cieľov pre energetickú efektívnosť v roku 2030 sa v scenároch WEM a WAM nepodarí splniť. Splnenie týchto cieľov je možno dosiahnuť len veľmi urýchleným prijatím veľmi ambicióznych opatrení a politík, ktoré v tak krátkom čase nie je možné dosiahnuť. Spotrebu tiež nie je možné realisticky zásadne znížiť bez výrazných investičných nákladov (napr. v oblasti dopravy nákupom veľkého počtu elektromobilov). K dostatočnému zníženiu spotreby energie dôjde v scenári SWAM, ktorý je popísaný na konci podkapitoly.

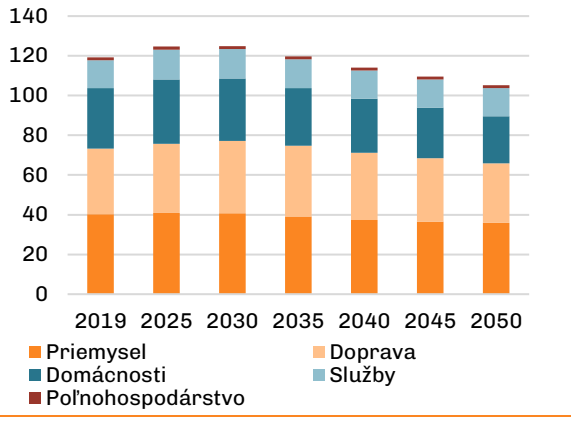
4.3.1 Konečná energetická spotreba

V scenári WEM medzi rokmi 2019 a 2030 vzrastie konečná energetická spotreba o 4,7 %. Mierne navýšenie v úvodných rokoch je spôsobené najmä zvyšovaním aktivity v doprave (navýšenie spotreby o 10 %), ktoré je doplnené miernym rastom potreby vykurovania budov z dôvodu nižšej základnej úrovne roka 2019. V priemysle sa očakáva približne rovnaká spotreba, čo je spôsobené navzájom sa rušiacimi efektami nárastu produkcie a zvyšovania energetickej efektívnosti.

Do roku 2050 sa konečná energetická spotreba v scenári WEM zníži približne o 12 % oproti roku 2019. Najviac k tomuto zníženiu prispeje sektor domácností, v ktorom sa celková spotreba zníži o približne 22 %, pričom dopyt po vykurovaní klesne dôsledkom vyššej energetickej efektívnosti o viac ako tretinu. V doprave a priemysle dôjde k zníženiu približne o 9 % a 11 %, pričom v oboch prípadoch bude toto zníženie dôsledkom čiastočnej elektrifikácie. Spotreba v službách zostane, najmä vďaka rastúcej sektorovej pridanej hodnote, približne na rovnakej úrovni.

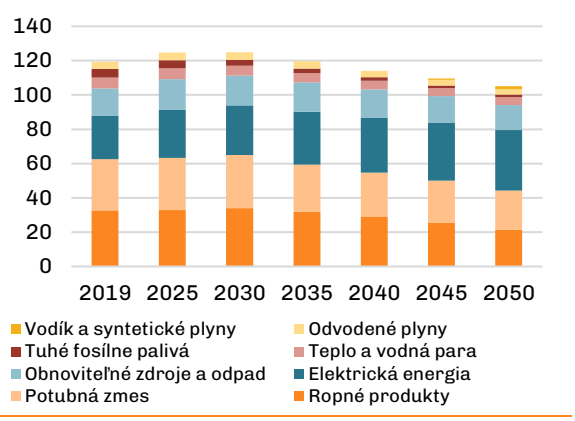
Konečná spotreba elektrickej energie v sektoroch koncovej spotreby vzrastie do roku 2050 v scenári WEM o 40 % oproti roku 2019. Vo vykurovaní budov sa takmer úplne ustúpi od využívania tuhých fosílnych palív. Tuhé fosílne palivá tak zostanú využívané už len v niekoľkých odvetviach priemyslu, kde je ich nahradenie ekonomicky náročné. Z dôvodu lepších termoizolačných vlastností budov klesne spotreba tepla a vodnej pary približne o štvrtinu. Dôsledkom čiastočnej elektrifikácie dopravy sa zníži spotreba ropných produktov o 34 %. Spotreba zemného plynu zásadne klesne v domácnostiach, ktoré okrem zníženia energetickej náročnosti budú viac využívať na vykurovanie elektrickú energiu (prostredníctvom tepelných čerpadiel). V priemysle bude časť spotreby zemného plynu nahradená biomasou a elektrickou energiou, pričom k zníženiu spotreby prispeje aj vyššia energetická efektívnosť novších zariadení.

Graf 16: Konečná energetická spotreba podľa sektora (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 17: Konečná energetická spotreba podľa palív (WEM, v TWh)

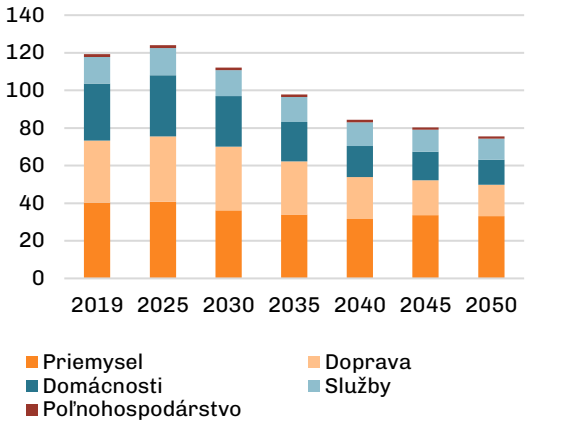


Zdroj: IEP podľa CPS

V scenári WAM sa konečná energetická spotreba medzi rokmi 2019 a 2030 zníži o 6 %. Pokles nastane v sektoroch domácností (o 11,3 %) a služieb (o 2,8 %) najmä vďaka zníženiu dopytu po vykurovaní v dôsledku lepšej termoizolácie a efektívnejších vykurovacích zariadení. Zvýšenie spotreby v doprave bude výrazne nižšie ako v scenári WEM (o 2,6 %), najmä v dôsledku vyššieho počtu elektrických vozidiel, ktoré majú nižšiu spotrebu energie. Spotreba v priemysle zostane v roku 2030 približne na rovnakej úrovni ako v roku 2019, pričom produkcia významne narastie najmä v automobilovom a oceliarskom priemysle.

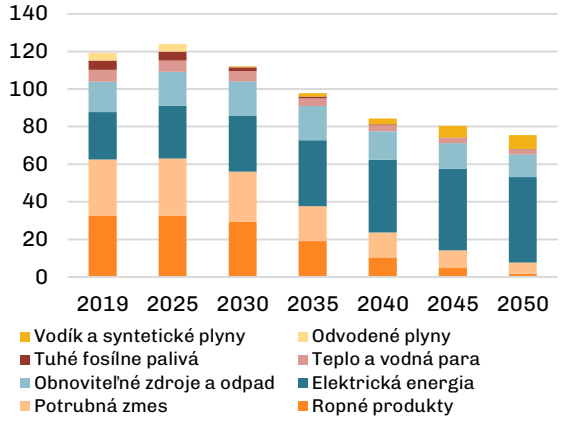
Do roku 2050 sa konečná energetická spotreba v scenári WAM zníži o 36,7 % oproti roku 2019. V sektore domácností klesne spotreba o takmer polovicu. Je to spôsobené najmä výrazným prechodom na vykurovanie prostredníctvom tepelných čerpadiel, ktorých spotreba je približne tretinová a tiež vysokou mierou obnovy budov. Čiastočne tiež bude hrať úlohu zníženie populácie, ktoré môže viesť k zníženému počtu vykurovaných domácností. Dôsledkom takmer úplnej elektrifikácie cestnej dopravy klesne spotreba energie v doprave približne o polovicu. Vyššia elektrifikácia tiež napomôže k zníženiu spotreby v priemysle (o 17,6 %) a službách (o 20,8 %), pričom v spojení s očakávaným navyšovaním podielu produkcie v službách výraznejšie klesne energetická náročnosť ekonomiky SR.

Graf 18: Konečná energetická spotreba podľa sektorov (WAM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 19: Konečná energetická spotreba podľa palív (WAM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Box 15: Konečná a primárna energetická spotreba

Konečná energetická spotreba zodpovedá energii, ktorá je skutočne spotrebovaná konečnými užívateľmi, v priemysle, domácnostiach, službách, doprave a poľnohospodárstve, t.j. neobsahuje straty pri výrobe, transformácii, distribúcii či prenose.

Primárna energetická spotreba zahŕňa celkový energetický dopyt krajiny využitý na energetické účely, t.j. všetky energie, ktoré sú v krajine použité okrem prípadov neenergetického využitia (napr. spotreba zemného plynu pri výrobe vodíka sa do primárnej spotreby nezapočítava). Primárna energetická spotreba teda okrem konečnej spotreby významne závisí od efektívnosti výroby elektrickej energie a tepla, a procesu ich distribúcie ku konečným užívateľom.

Príklad č.1: Konečná energetická spotreba

Domácnosť, ktorá je napojená na centrálne zásobovanie teplom, využije v priebehu roka 10 MWh tepla a teplej vody a 5 MWh elektrickej energie. Jej konečná energetická spotreba zodpovedajúca množstvu tepla a elektrickej energie, ktoré sa dostane do samotnej domácnosti, je teda 15 MWh.

Príklad č.2: Primárna energetická spotreba

Teplo a teplá voda vyrobené pre uvedenú domácnosť boli vyrobené v teplárni zo zemného plynu pri účinnosti 70 %. Zároveň pri jeho distribúcii z teplárne do domácnosti prišlo k strate

4 MWh tepla. Počas prepravy zemného plynu tiež v rámci SR boli zaznamenané straty vo výške 1 MWh. Primárna energetická spotreba zodpovedajúca spotrebe tepla a teplej vody v uvedenej domácnosti je rovná (10 + 4)/0,7 + 1 = 21 MWh.

Elektrická energia pre uvedenú domácnosť bola vyrobená z 60 % jadrovej energie s účinnosťou 30 % a 40 % vodnej so 100 % účinnosťou a na prenášaní a distribúcii elektrickej energie vznikli straty 5 %. Primárna energetická spotreba zodpovedajúca spotrebe elektrickej energie z jadrového paliva je teda 5*1,05*0,6/0,3 = 10,5 MWh a z vody 5*1,05*0,4/1 = 2,1 MWh, dokopy 12,6 MWh.

Primárna energetická spotreba zodpovedajúca danej ukážkovej domácnosti je 33,6 MWh.

4.3.2 Primárna energetická spotreba

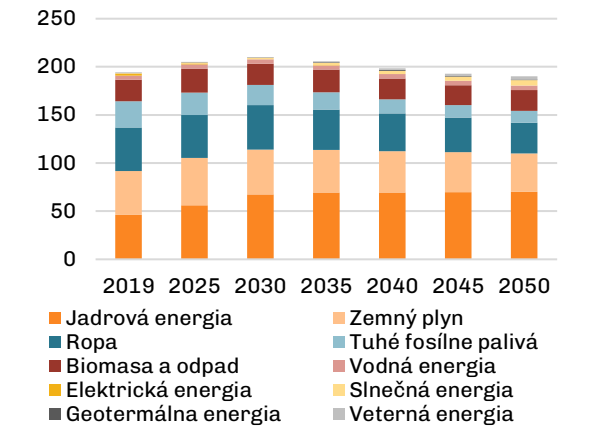
V scenári WEM vzrastie do roku 2030 primárna energetická spotreba o 8,4 %. Je to spôsobené najmä uvedením oboch nových blokov jadrovej elektrárne v Mochovciach. Výroba elektrickej energie z jadra patrí medzi menej efektívne, nakoľko v súčasnosti sa odpadové teplo, ktoré pri jej výrobe vznikne, využíva len v malej miere - elektráreň v Jaslovských Bohuniciach ho dodáva do okolitých miest. Využitie odpadového tepla z elektrárne v Mochovciach sa neočakáva.

Medzi rokmi 2030 a 2050 nastane v scenári WEM pokles primárnej energetickej spotreby o 9,4 % (resp. 1,8 % v porovnaní s rokom 2019). Od roku 2030 v scenári WEM postupne klesá spotreba tuhých fosílnych palív (o 41 % do roku 2050) a zemného plynu (o 14,9 %). Je to spôsobené najmä prechodom na menej emisne náročné zdroje energie vo výrobe elektrickej energie a tepla. Klesne aj spotreba ropy (o 30,9 %) z dôvodu zvyšovania podielu elektrickej energie v doprave. Spotreba jadrovej energie a biomasy zostáva medzi rokmi 2030 a 2050 približne rovnaká. Navyšuje sa spotreba slnečnej a veternej energie, ktoré do roku 2050 dosiahnu dokopy približne 8,8 TWh.

Do roku 2030 klesne primárna energetická spotreba v scenári WAM o 1 %. Tento pokles zabezpečí najmä zníženie spotreby v oceliarskom priemysle, kde sa okrem zníženia konečnej spotreby aj ukončí výroba koksu z koksovateľného uhlia. K zníženiu prispeje aj vyššia energetická efektívnosť budov, ktorá znižuje potrebu ich vykurovania.

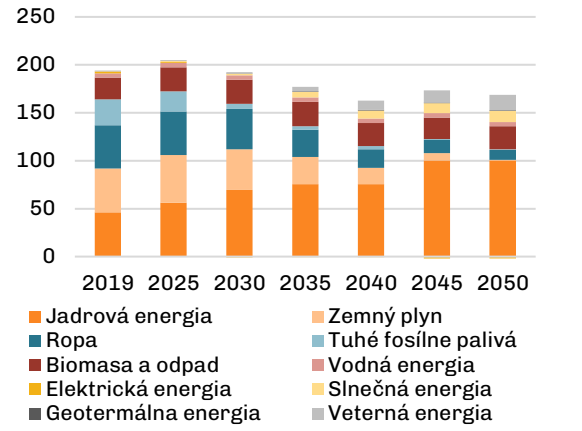
Medzi rokmi 2030 a 2050 poklesne primárna energetická spotreba v scenári WAM o 13 % (resp. o 13,9 % v porovnaní s rokom 2019). Po roku 2030 sa bude zásadne znižovať spotreba ropných produktov v doprave, čo prinesie aj úspory pri rafinácii. Vďaka výrazným úsporám v domácnostiach a službách sa tiež výrazne zníži využitie zemného plynu. Po roku 2030 naopak dochádza k výraznému navýšeniu využívaniu veternej a solárnej energie. Primárna energetická spotreba klesne o 16,2 % do roku 2040 oproti roku 2019. V roku 2045 sa očakáva zapojenie nového jadrového zdroja a tiež prechod na energeticky náročnejšiu výrobu ocele prostredníctvom priamej redukcie železnej rudy.

Graf 20: Primárna energetická spotreba podľa palív (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 21: Primárna energetická spotreba podľa palív (WAM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Ciele v oblasti energetickej efektívnosti pre rok 2030 sa v scenári WAM nepodarí dosiahnuť. Očakáva sa, že v roku 2030 dosiahne konečná energetická spotreba úroveň 112,1 TWh a primárna energetická spotreba 191,5 TWh. Ciele pre konečnú a primárnu energetickú spotrebu sú 99,9 TWh a 162,1 TWh (Tabuľka 5). Pre dosiahnutie cieľov v tejto oblasti by boli potrebné investície výrazne nad rámec tých, ktoré sú plánované v scenári WAM. Vo veľkej miere by tieto investície kopírovali požiadavky, ktoré sú spojené s dosahovaním cieľov pre podiel OZE. Problematické je tiež nastavenie referenčných hodnôt európskeho scenára, ktorý počíta s výrazne nižšími hodnotami aktivitných údajov (napr. pridaná hodnota výroby železa a oceli je v roku 2030 o približne 30 % nižšia, počet osobokilometrov v osobnej doprave je nižší o 12,2 % a počet tonokilometrov v nákaldnej preprave o 7,7 %). Celkovo je očakávané HDP krajiny v referenčnom scenári v roku 2030 nižšie o približne 3,5 %.

5 Sektorové výsledky

5.1 Výroba elektrickej energie a tepla

Výroba elektrickej energie v SR patrí medzi najmenej emisne náročné v Európskej únii, najmä vďaka vysokému podielu výroby z jadra a vody. V priebehu posledných rokov bola ukončená výroba vo dvoch najväčších uhoľných elektrárňach v Novákoch a Vojanoch. V súvislosti s dekarbonizáciou sa bude výrazne zvyšovať dopyt po elektrickej energii, ktorý je potrebné pokryť z nízkoemisných a obnoviteľných zdrojov, najmä zo slnka a vetra. Pri navyšovaní ich podielu bude tiež potrebné zabezpečiť stabilitu siete prostredníctvom batérií či vodíka.

Krátkodobo sa vo výrobe tepla bude meniť palivová základňa, z dlhdoobého hľadiska poklesne aj dopyt po teple. Necelá pätina spotreby tepla a vodnej pary pochádza z centrálneho zásobovania. Tieto zdroje sa využívajú najmä vo väčších mestách, kde je k dispozícii potrebná infraštruktúra. Veľká časť tohto dopytu je pokrytá zemným plynom alebo biomasou, menšia časť zodpovedá tuhým fosílnym palivám. V krátkodobom horizonte sa očakáva nahradenie uholných a lignitových kotlov za biomasové a plynové kotle. Z dlhodobého hľadiska príde k zníženiu dopytu po teple najmä dôsledkom vyššej miery zateplenia budov a zvyšovania ich energetickej efektívnosti.

Box 16: **Čistá a hrubá výroba elektriny a tepla a efektívnosť výroby**

Čistá výroba zahŕňa elektrinu alebo teplo dodávané do siete.

Hrubá výroba zahŕňa navyše aj energie spotrebované výrobným zariadením. Tieto energie slúžia na chod a prevádzku zariadenia a pohybujú sa v rozmedzí 0 % až 16,5 %.

Spotreba zahrňa energiu, ktorú spotrebúva koncový používateľ, od čistej výroby sa teda líši o straty z prenosu a distribúcie.

Zariadenia rozdeľujeme na základe toho, či vyrábajú elektrinu, teplo alebo vyrábajú elektrinu aj teplo (KVET). V zariadeniach KVET je ťažké posúdiť koľko primárnej energie sa spotrebuje na výrobu elektriny a koľko na výrobu tepla. Preto sa spotreba primárnych energií delí do týchto troch tried zariadení.

Zariadenia sa líšia aj svojou účinnosťou premeny primárnej energie na elektrickú a tepelnú energiu. Jadrové zdroje sa pohybujú približne pri účinnosti 33 %, teda z 3 GWh jadrového paliva vyrobia približne 1 GWh elektriny a tepla. Zvyšok energie sa minie na teplné straty. Pri zemnóm plyne je účinnosť vyššia a pohybuje sa približne okolo 50 %. Najmenej účinnou je výroba energií z odpadu kde sa pohybuje účinnosť okolo 6 až 12 %.

Tabuľka 17: Príklad zariadení KVET

Zariadenie	KVET
JE Jaslovské Bohunice	Áno
JE Mochovce	Nie
Nováky	Áno
Vojany	Nie
ZEVO OLO	Áno
Žilinská teplareň	Áno

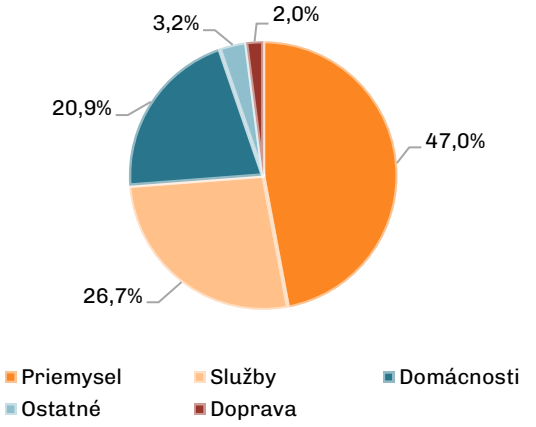
Zdroj: CPS

5.1.1 Súčasný stav

V roku 2019 dosiahla spotreba elektrickej energie približne 26 TWh, pričom takmer polovicu spotreboval priemysel. Najväčšími priemyselnými odberateľmi boli odvetvia automobilovej a strojárenskej výroby, výroby hliníka a zliatin a oceliarsky priemysel. V sektoroch domácností a služieb sa elektrická energia vo veľkej miere využívala najmä pre elektrické spotrebiče (čierna a biela technika), menší podiel bol v osvetlení či vykurovaní. V doprave sa využívala elektrická energia najmä na železnici.

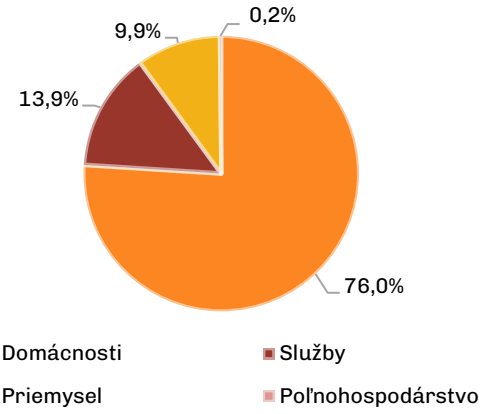
Spotreba tepla z centrálneho zásobovania bola v roku 2019 na úrovni 6,2 TWh. Väčšina zo spotreby zodpovedala domácnostiam, v menšom množstve boli vykurované budovy zo sektora služieb a čiastočne boli z centrálnych zdrojov zásobované (najmä menšie) priemyselné prevádzky.

Graf 22: Spotreba elektrickej energie v roku 2019 podľa odvetví



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 23: Spotreba tepla v roku 2019 podľa odvetví



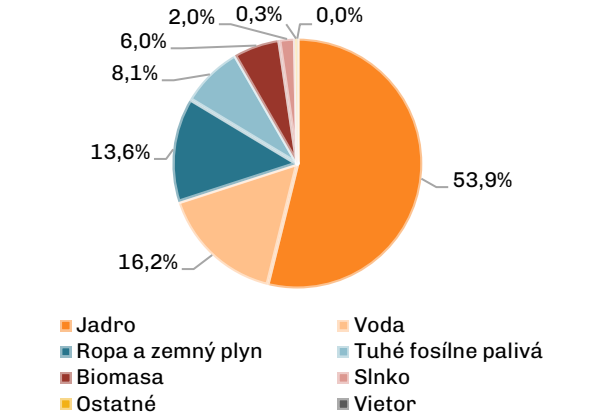
Zdroj: IEP podľa CPS

V roku 2019 sa v SR vyrobilo 28,5 TWh elektrickej energie[43]. Viac ako polovica bola vyrobená v jadrových elektrárňach. Produkcia elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov ako sú voda, biomasa, slnko, a v menšej miere aj vietor, dosiahla približne 24,2 %. Výroba elektriny zo zemného plynu či tuhých fosílnych palív tvorili dokopy skoro štvrtinu celkovej výroby (21,7 %).

V centrálnom zásobovaní bolo v roku 2019 vyrobených 8 TWh tepla[44]. Straty pri zásobovaní zodpovedali 1,9 TWh, t.j. približne štvrtine celkovej výroby. Až polovica tepla bola vyrobená zo zemného plynu a štvrtina z tuhých fosílnych palív (najmä vo väčších tepláreňach využívajúcich kombinovanú výrobu). Časť tepla tiež pochádzala z biomasy a odpadového tepla z jadrovej elektrárne v Jaslovských Bohuniach.

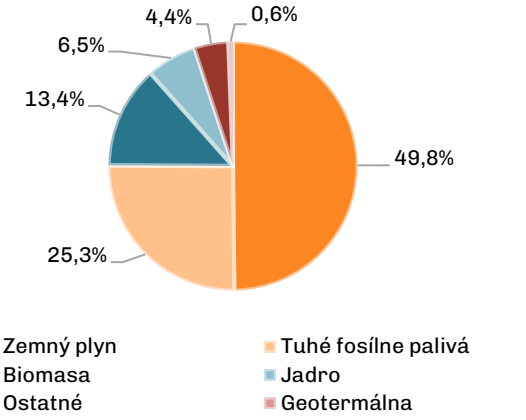
[43] Jedná sa o hrubú výrobu, v ktorej sú započítané straty pri prenose a distribúcii energie. V porovnaní so spotrebou je tiež započítané saldo SR, t.j. rozdiel medzi importom a exportom.
[44] Jedná sa o hrubú výrobu, v ktorej sú započítané straty pri prenose a distribúcii energie.

Graf 24: Hrubá výroba elektrickej energie v elektrárňach roku 2019 podľa zdroja



Zdroj: SEPS

Graf 25: Hrubá výroba tepla podľa palív v KVET a výhrevniach v roku 2019 (v GWh)



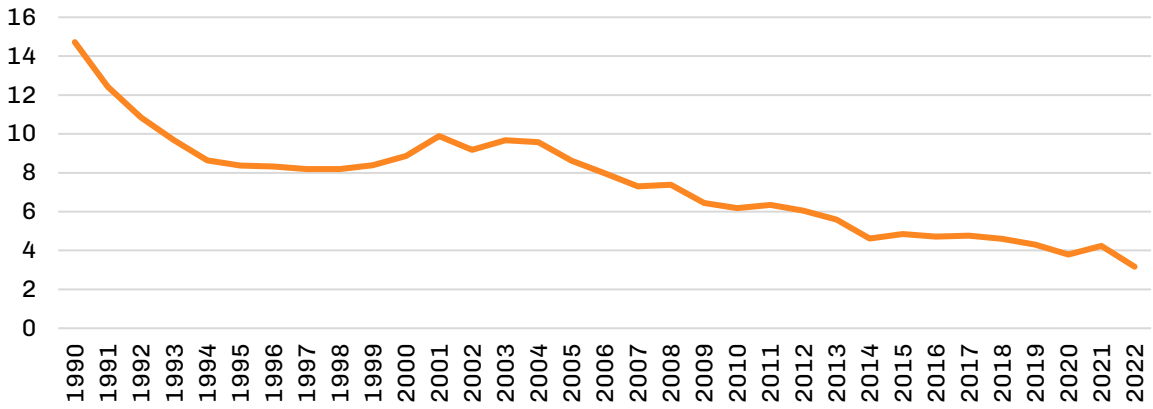
Zdroj: IEP podľa CPS

Celkovo bolo vo výrobe elektrickej energie a tepla spotrebovaných 72 TWh primárnej energie. Najväčšia časť energie (51,2 %) pripadá na kombinovanú výrobu elektrickej energie a tepla (KVET), do ktorej spadá aj jadrová elektráreň v Jaslovských Bohuniciach, ktorá má pomerne vysoký pomer medzi vyprodukovanou elektrickou energiou a teplom, a primárnou energiou, ktorá do elektrárne vstupuje v podobe jadrového paliva[45]. Vo výrobe elektrickej energie (mimo KVET) bolo spotrebovaných približne 32 TWh a vo výhrevniach (t.j. zariadeniach na výrobu tepla mimo KVET) bola spotreba približne 3 TWh.

Emisie skleníkových plynov z výroby elektrickej energie a tepla dosiahli v roku 2019 približne 4,6 Mt CO_2 ekv., čo zodpovedalo 11,7 % emisií SR. Najväčšia časť emisií zodpovedala tuhým fosílnym palivám (58,8 %), ktoré sa využívajú najmä v kombinovanej výrobe a tiež v elektrárni vo Vojanoch. Zvyšok emisií vzniká spotrebou zemného plynu a v menšej miere ropných produktov a odpadu.

Medzi rokmi 1990 a 2022 poklesli emisie v energetickom sektore o približne 78,5 %. Je to najmä dôsledkom modernizácie a neskoršieho uzatvárania zariadení využívajúcich tuhé fosílne palivá. V rokoch 2023 a 2024 boli následne uzatvorené aj posledné bloky zariadení v Novákoch a Vojanoch, čím prišlo k ďalšiemu zníženiu emisií. V súčasnosti sa tuhé fosílne palivá ďalej používajú najmä vo väčších zariadeniach typu KVET, ktoré však tiež postupne prechádzajú modernizáciou.

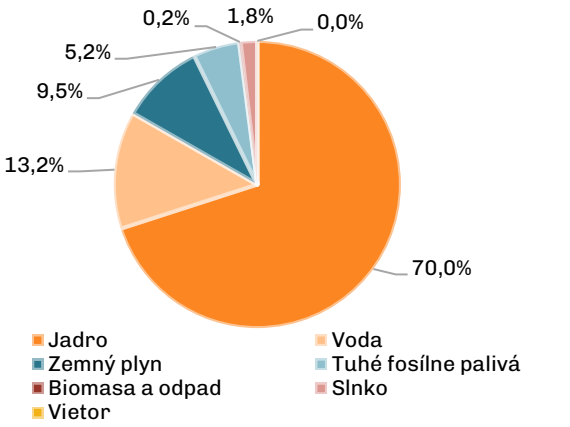
Graf 26: Emisie z výroby elektriny a tepla v rokoch 1990 až 2022 (v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: SHMÚ

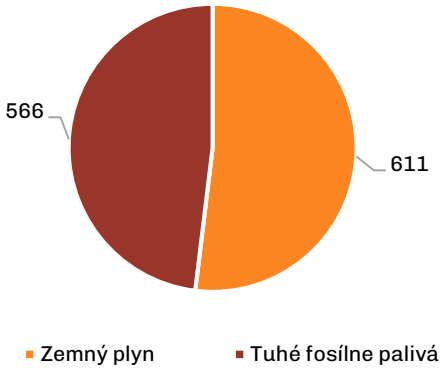
[45] Elektráreň v Mochovciach sa nachádza v kategórii výroba elektrickej energie nakoľko v súčasnosti nevyužíva možnosť kombinovanej výroby.

Graf 27: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v elektrárňach v roku 2019



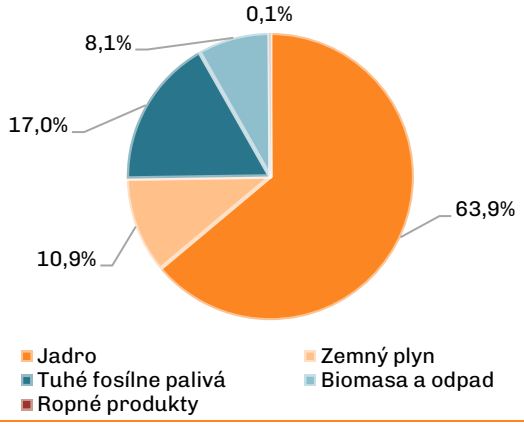
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 28: Emisie z výroby elektrickej energie v elektrárňach podľa palív v roku 2019 (v kt CO_2 ekv.)



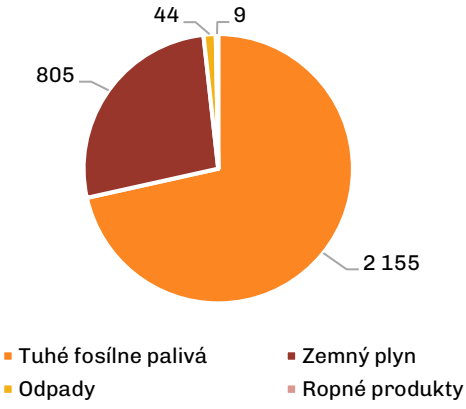
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 29: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v zariadeniach KVET v roku 2019



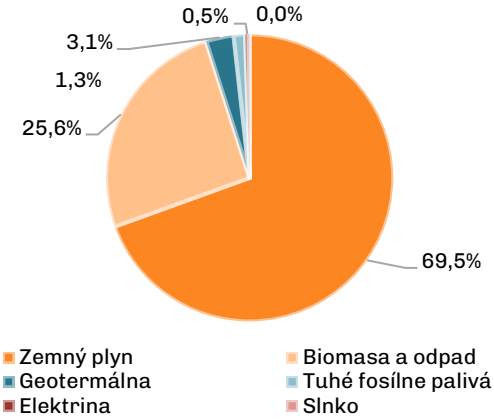
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 30: Emisie z výroby v zariadeniach KVET podľa palív v roku 2019 (v kt CO_2 ekv.)



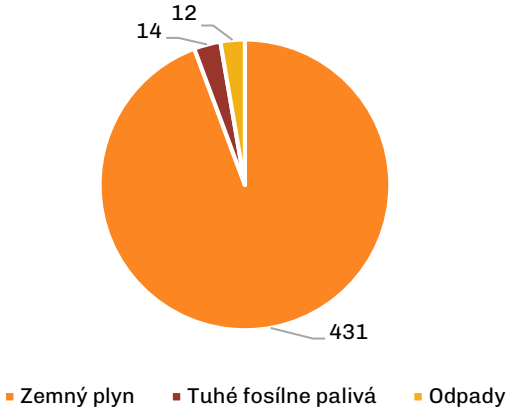
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 31: Primárna energetická spotreba podľa zdroja vo výhrevniach v roku 2019



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 32: Emisie z výroby tepla vo výhrevniach podľa palív v roku 2019 (v kt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

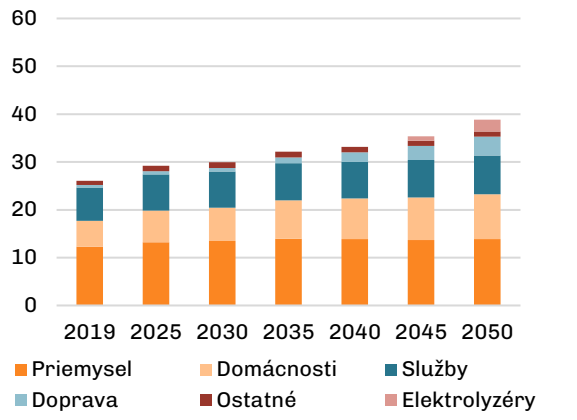
5.1.2 Výsledky modelovania

5.1.2.1 Spotreba elektrickej energie

V scenári WEM spotreba elektrickej energie v sektoroch konečnej spotreby a transformácií palív narastie do roku 2050 o 49,1 %. Spotreba elektrickej energie v dôsledku prechodu na elektrické tepelné čerpadlá a elektrifikácie ohrevu vody narastie v domácnostiach o 72,6 %, resp. službách. o 16 %. Spotreba v týchto sektoroch preto narastie o približne 5,1 TWh. Postupný prechod na elektromobilitu zapríčiní nárast spotreby elektrickej energie v cestnej doprave o približne 3,4 TWh. Výroba vodíka prostredníctvom elektrolýzy v roku 2050 navýši spotrebu elektrickej energie o 2,4 TWh.

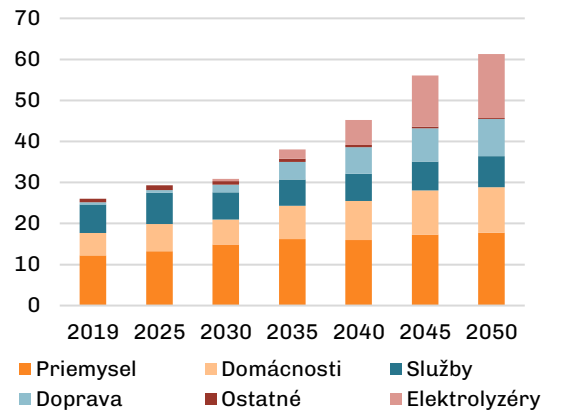
Elektrifikácia vo všetkých sektoroch konečnej spotreby a transformácií palív navýši spotrebu elektrickej energie o 135,3 % do roku 2050 v scenári WAM. V domácnostiach a službách sa očakáva prechod na elektrické tepelné čerpadlá, čo si vyžiada dodatočných 6,2 TWh elektrickej energie. V priemysle sa očakáva prechod z tuhých a plynných palív na elektrickú energiu a výmena vysokých pecí za elektrické, čo navýši spotrebu o 5,5 TWh. Postupný prechod na elektromobily zvýši spotrebu elektrickej energie o približne 8,5 TWh. Výroba vodíka elektrolýzou v roku 2050 spotrebuje približne 15,6 TWh, čo predstavuje približne štvrtinu celkovej spotreby elektrickej energie. Využívanie vodíka sa očakáva najmä v priemysle a doprave, ale aj v energetike na ukladanie energie medzi letom a zimou.

Graf 33: Spotreba elektrickej energie (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 34: Spotreba elektrickej energie (WAM, v TWh)

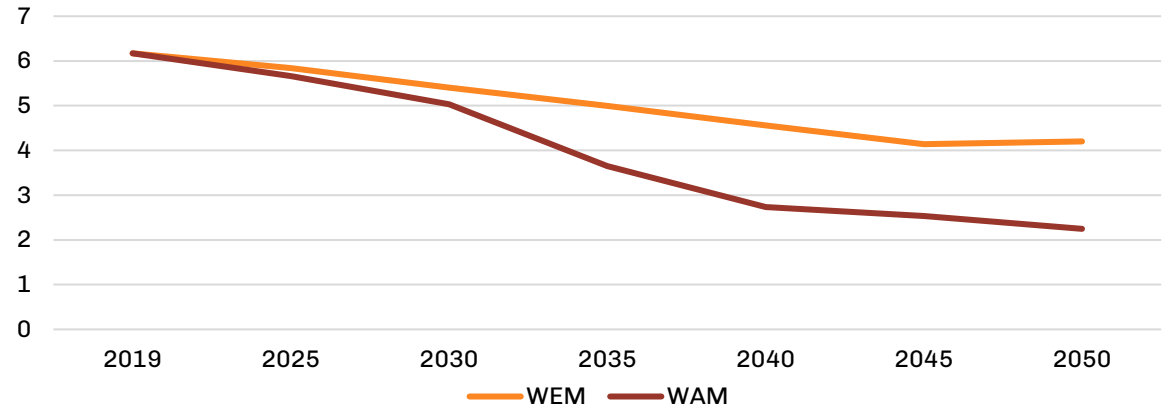


Zdroj: IEP podľa CPS

5.1.2.2 Spotreba tepla

Do roku 2050 klesne spotreba tepla z CZT o 31,9 % v scenári WEM a o 63,6 % v scenári WAM. Tento pokles je zapríčinený najmä vyššou energetickou efektívnosťou budov a vyšším využitím tepelných čerpadiel, ktoré budú mať výrazný podiel na vykurovaní domácností a služieb. Z ekonomického hľadiska zároveň prinášajú pomerne výrazné úspory, pričom sa zatiaľ nepredpokladá ich výraznejšie využitie v centrálnom zásobovaní.

Graf 35: Dopyt po teple (v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

5.1.2.3 Výroba elektriny a tepla

Vyšší dopyt po elektrine si vyžiada aj navýšenie výrobnej kapacity elektrickej energie. Vzhľadom na dekarbonizačné úsilie a dôsledkom navyšovania ceny emisných kvót sa navýšia kapacity najmä bezemisnej alebo nízkoemisnej výroby. Časť spotreby bude pokrytá jadrovými zdrojmi, výrazne sa však navýši aj podiel obnoviteľných zdrojov energie.

Výroba elektrickej energie z jadra bude naďalej hrať veľmi dôležitú úlohu. V oboch scenároch sa počíta s postupným navyšovaním výrobných kapacít jadrových elektrární, najmä zapojenie zdrojov Mochovce 3 a 4. V scenári WEM sa očakáva medzi rokmi 2040 a 2045 ukončenie prevádzky súčasných blokov v Jaslovských Bohuniciach, ktoré budú nahradené novým zdrojom v výkonom 1,2 GW. V scenári WAM sa životnosť elektrárne v Jaslovských Bohuniciach predĺži o 10 rokov, pribudnú tiež dodatočné jadrové zdroje - v 2035 malý modulárny reaktor s výkonom 300 MW a v roku 2045 blok s výkonom 1,2 GW. Podiel čistej elektrickej energie z jadra dosiahne v roku 2050 v scenári WAM 47,2 % a v scenári WEM 53,6 %.

Ekonomicky najvýhodnejšou cestou pokrytia rastúceho dopytu po elektrickej energii je rozvoj solárnej a veternej energie. Celkové náklady využívania solárnej a veternej energie sú nižšie oproti iným zdrojom, aj ak sa započítajú investície do zdrojov zabezpečujúcich stabilitu siete a do prenosových a distribučných sústav.

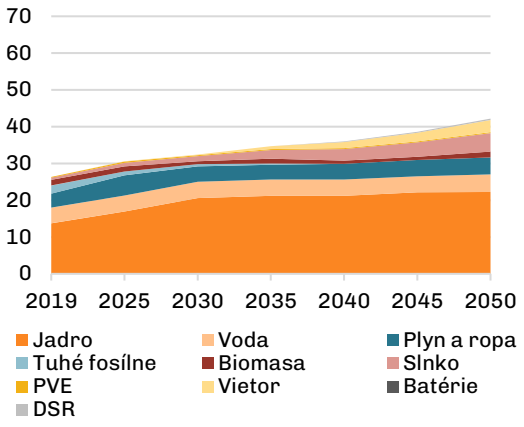
Do roku 2050 stúpne v scenári WAM čistá výroba z veternej a slnečnej energie až na 16 TWh resp. 11 TWh, čo zodpovedá 24 %, resp. 16,6 %. Celkový inštalovaný výkon veterných elektrární dosiahne 8,3 GW, slnečné elektrárne budú mať ešte vyšší výkon (9,6 GW). Významná časť z týchto zdrojov by mala pokrývať najmä lokálnu spotrebu, čo znižuje tlak na rozširovanie distribučných a prenosových sústav.

V oboch scenároch nastane výrazné zníženie produkcie elektrickej energie z tuhých fosílnych palív. Tuhé fosílne palivá sa vo veľkej miere prestanú používať už pred rokom 2030, o niečo dlhšie zotrvajú v zariadeniach typu KVET, kde však budú tiež postupne nahradené biomasou a zemným plynom. V scenári WEM sa naďalej budú používať vo výrobe elektrickej energie v oceliarskom priemysle.

Zemný plyn bude vo výrobe elektrickej energie v scenári WAM do roku 2040 využívaný najmä na reguláciu siete, neskôr sa prestane využívať úplne. V scenári WEM sa očakáva zachovanie miery súčasného využitia zemného plynu, pričom výroba z neho sa bude držať v rozmedzí 3,8 až 4,6 TWh (t. j. približne 10 %). V scenári WAM po roku 2040 očakávame výrazný nástup využitia batériových systémov a úschovy energie prostredníctvom vodíka. Úlohu zemného plynu tiež zastúpi výroba z biomasy.

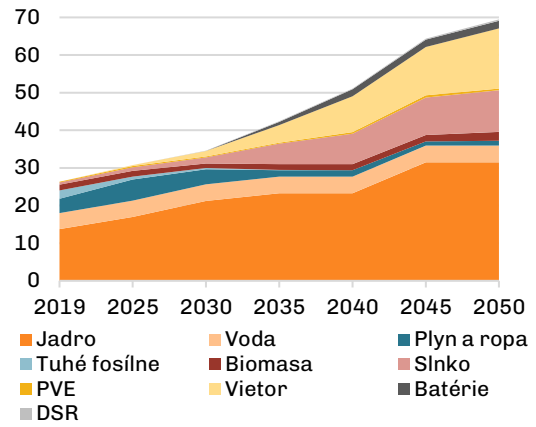
Výroby elektrickej energie z biomasy zotrvá v scenári WAM približne na rovnakej úrovni, a v roku 2050 sa navýši pre účely umelých záchytov. V scenári WEM príde dôsledkom mierneho navýšenia využitia biomasy v iných odvetviach k miernemu poklesu jej využitia vo výrobe elektrickej energie. V súvislosti s poklesom dopytu po biomase v ostatných sektoroch a potrebou dekarbonizácie dôjde v roku 2050 k uvedeniu nového zdroja na biomasu (s výkonom približne 270 MW), ktorý bude využívať technológiu umelých záchytov.

Graf 36: Čistá výroba el. energie (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

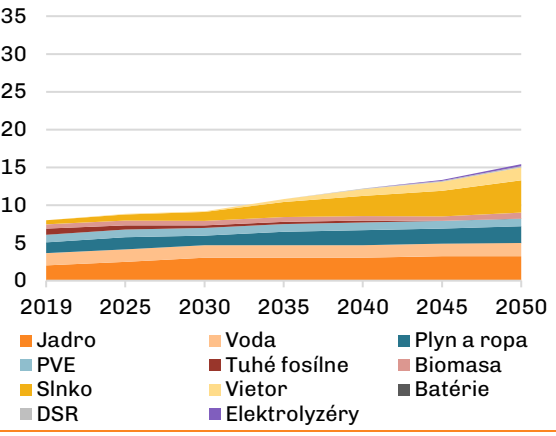
Graf 37: Čistá výroba el. energie (WAM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

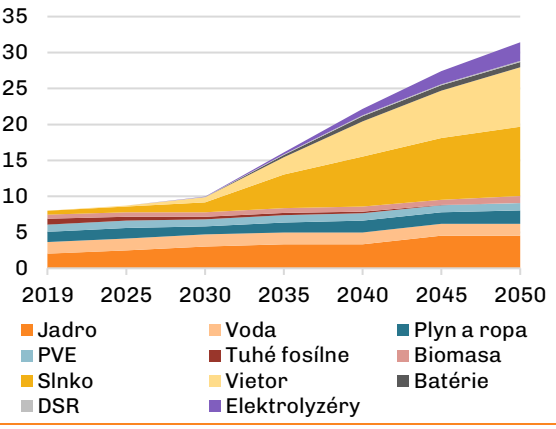
Do roku 2050 sa neočakáva výstavba väčších vodných elektrární, nakoľko sa ich potenciál považuje za pomerne vyčerpaný. Mierne narastie kapacita výroby elektriny z vody prostredníctvom obnovy infraštruktúry a výstavbou malých vodných elektrární.

Graf 38: Inštalovaný výkon (WEM, v GW)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 39: Inštalovaný výkon (WAM, v GW)

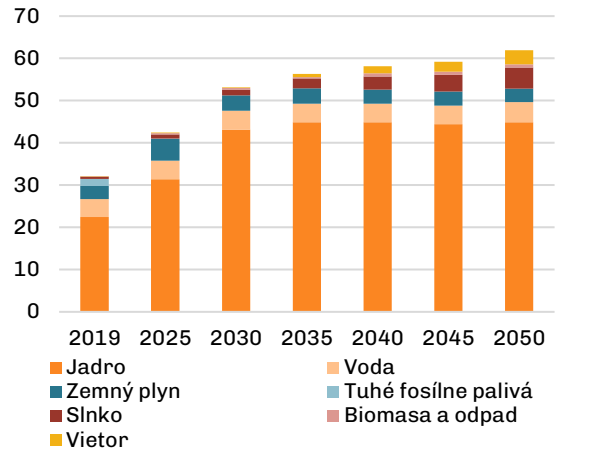


Zdroj: IEP podľa CPS

5.1.2.4 Spotreba palív a emisie

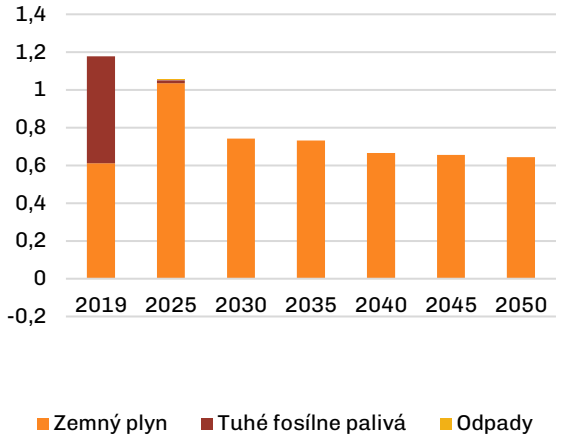
Spotreba energií v elektrárňach vzrastie v scenári WEM do roku 2050 o 92,9 %. Emisie skleníkových plynov do roku 2050 klesnú o 45,3 %. S rastúcim dopytom rastie aj využívanie primárnych zdrojov energie na výrobu elektriny. Nárast zapríčiní aj úplné sprevádzkovanie elektrárne v Mochovciach, ktoré prebehne do roku 2030. Rásť bude tiež spotreba energií z obnoviteľných zdrojov. Emisie skleníkových plynov do roku 2030 výraznejšie klesnú (o 37 %) najmä v dôsledku uzavretia elektrárne vo Vojanoch a navýšenia kapacít jadrovej a obnoviteľnej energie, pričom zvyšné emisie budú zodpovedať výrobe zo zemného plynu, ktorá bude po roku 2025 približne stabilná.

Graf 40: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v elektrárňach (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

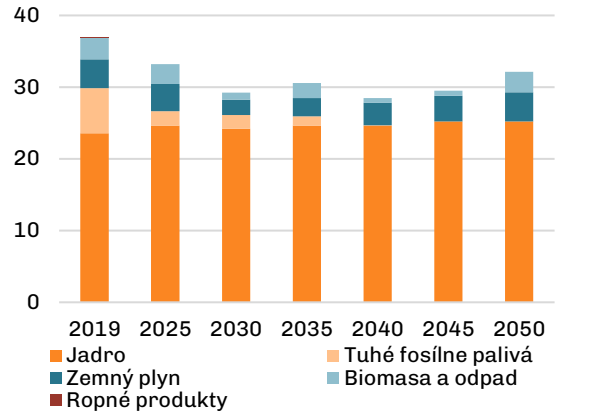
Graf 41: Emisie skleníkových plynov v elektrárňach (WEM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

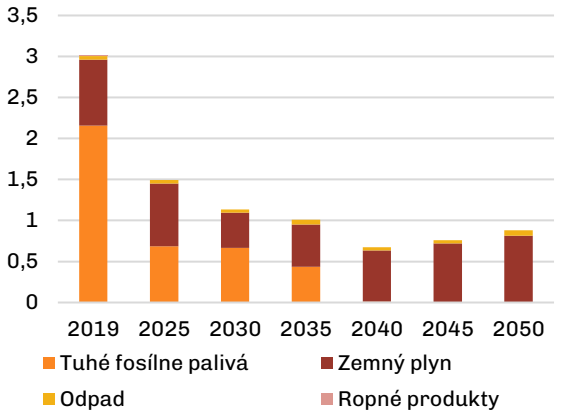
V zariadeniach KVET v scenári WEM klesne do roku 2050 spotreba energie o 12,9 %, emisie klesnú o 70,8 %. Väčšina spotreby energie zodpovedá jadrovej elektrárni v Jaslovských Bohuniciach, v menšej miere prispievajú zdroje využívajúce biomasu alebo zemný plyn. Emisie skleníkových plynov klesnú najmä dôsledkom postupného ukončenia spaľovania tuhých fosílnych palív, ktoré nastane do roku 2035. Zvyšok emisií bude tvoriť výroba zo zemného plynu a v malej miere využitie odpadu.

Graf 42: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v zariadeniach KVET (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

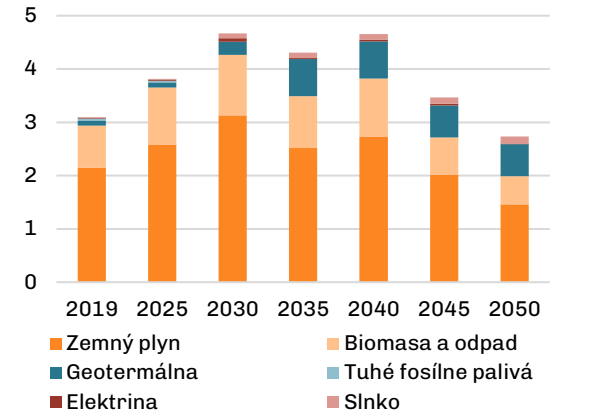
Graf 43: Emisie skleníkových plynov v zariadeniach KVET (WEM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

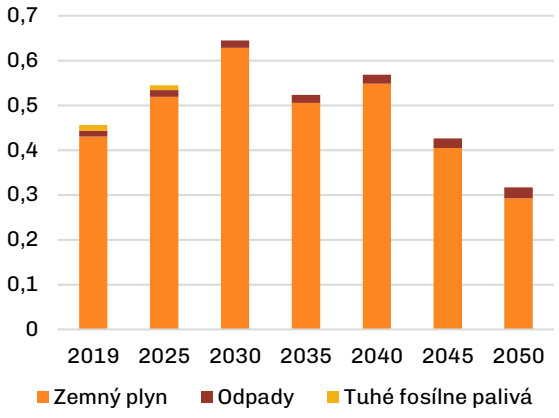
Vo výhrevniach bude spotreba energie najprv rásť, následne však klesne. Emisie budú aj naďalej takmer úplne závisieť od využitia zemného plynu, ktorého spotreba bude kolísať, do roku 2050 však emisie klesnú o 30,6 %. Spotreba bude rásť najmä dôsledkom zapájania nových zdrojov na zemný plyn a geotermálnu energiu, neskôr budú však najmä staršie zdroje (zvyčajne zo začiatku tohto tisícročia) ukončovať svoju prevádzku.

Graf 44: Primárna energetická spotreba podľa zdroja vo výhrevniach (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

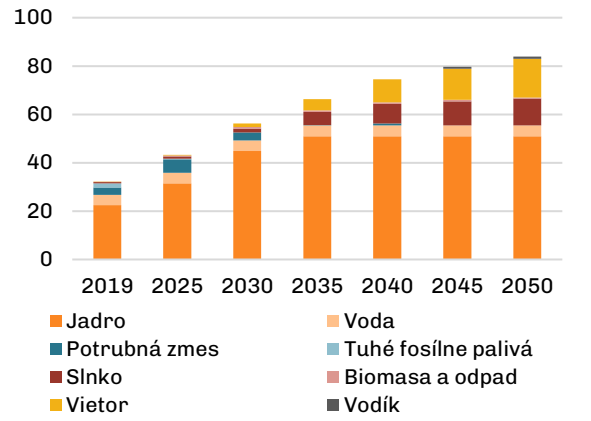
Graf 45: Emisie skleníkových plynov vo výhrevniach (WEM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

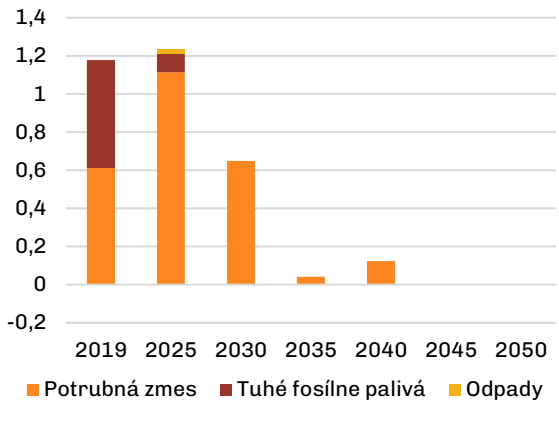
V scenári WAM stúpne do roku 2050 spotreba energie v elektrárňach o 161,5 %, emisie skleníkových plynov klesnú do roku 2050 na nulu. Hlavnou príčinou rastu spotreby je celkové navýšenie objemu vyrobenej elektrickej energie a rozšírenie výroba z jadra v podobe dokončenia oboch blokov elektrárne v Mochovciach, ako tiež aj malého modulárneho reaktora v roku 2035. V roku 2050 sa bude elektrická energia v elektrárňach vyrábať už len z jadra a obnoviteľných zdrojov energie.

Graf 46: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v elektrárňach (WAM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

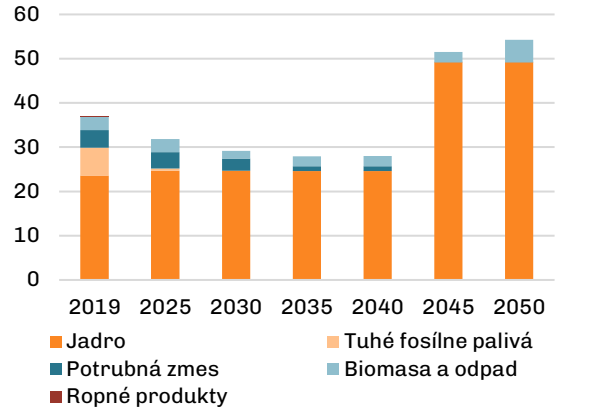
Graf 47: Emisie skleníkových plynov v elektrárňach (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

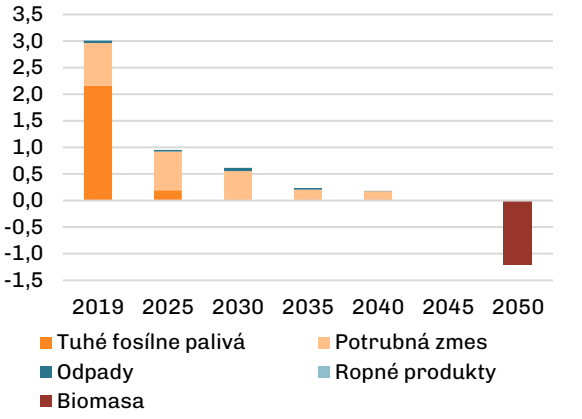
Spotreba energie v zariadeniach KVET v scenári WAM stúpne najmä od roku 2045 dôsledkom sprevádzkovania nového jadrového zdroja. V roku 2050 bude spotreba o 47 % vyššia. Emisie skleníkových plynov v zariadeniach KVET klesnú na nulu po roku 2040 dôsledkom ukončenia výroby z tuhých fosílnych palív a následne aj zo zemného plynu. V roku 2050 sa očakáva zapojenie biomasovej elektrárne so systémom umelých záchytov, ktorá celkové emisie v tejto kategórii zníži na -1,2 Mt CO_2 ekv.

Graf 48: Primárna energetická spotreba podľa zdroja v zariadeniach KVET (WAM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

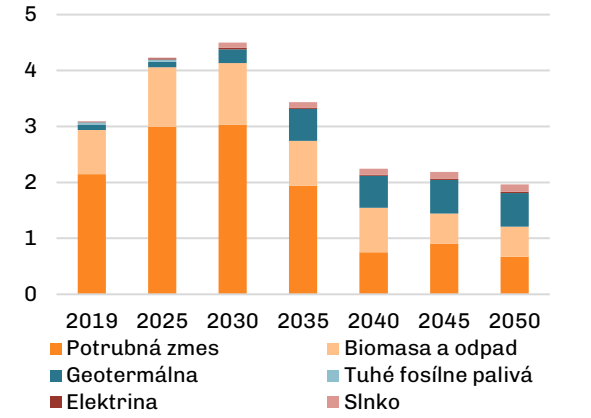
Graf 49: Emisie skleníkových plynov v zariadeniach KVET (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

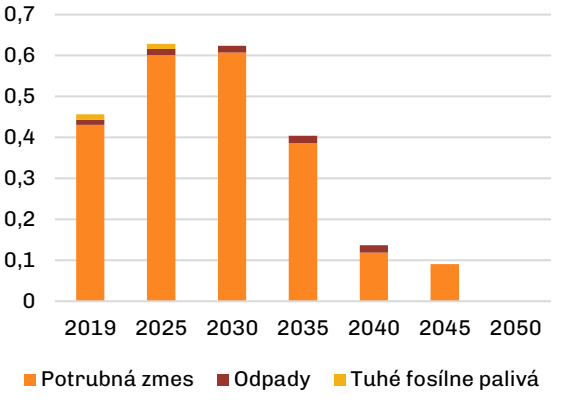
Vo výhrevniach do roku 2030 spotreba energie vzrastie, následne však bude klesať. Podobne to bude aj s emisiami skleníkových plynov, ktoré v roku 2050 klesnú takmer k nule. Takisto ako v scenári WEM bude postupne prichádzať k ukončovaniu výroby vo výhrevniach na zemný plyn, ktoré boli sprevádzkované v úvode tohto tisícročia.

Graf 50: Primárna energetická spotreba podľa zdroja vo výhrevniach (WAM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

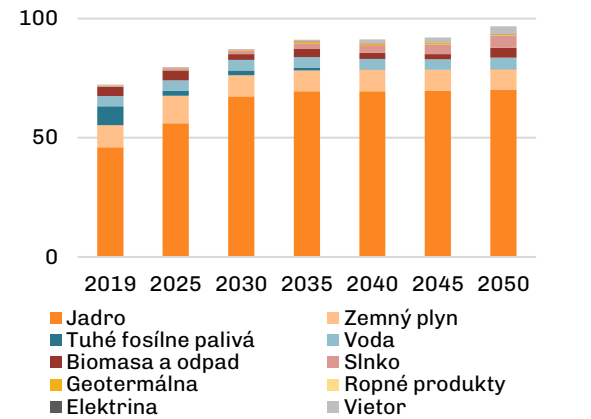
Graf 51: Emisie skleníkových plynov vo výhrevniach (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

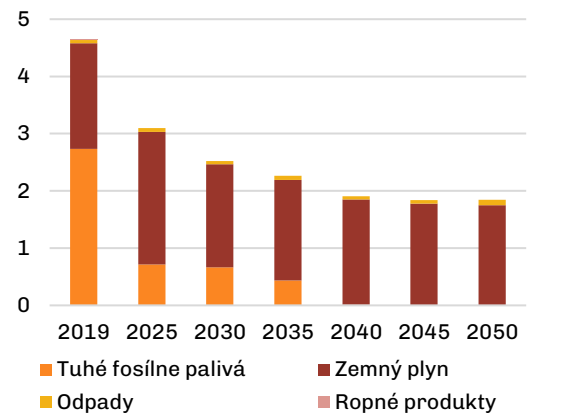
Súhrn výsledkov za všetky kategórie sa nachádza v grafoch nižšie.

Graf 52: Primárna energetická spotreba podľa zdroja vo výrobe elektriny a tepla (WEM, v TWh)



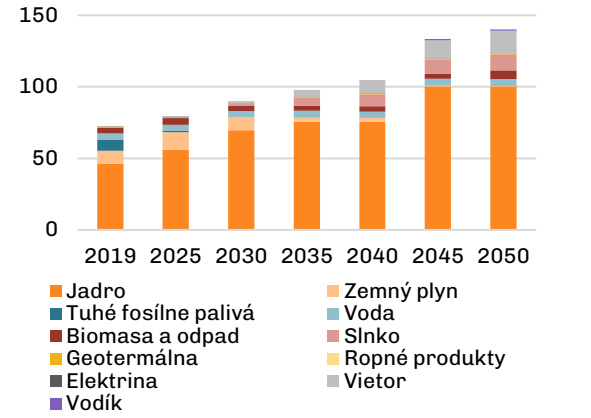
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 53: Emisie skleníkových plynov vo výrobe elektriny a tepla (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



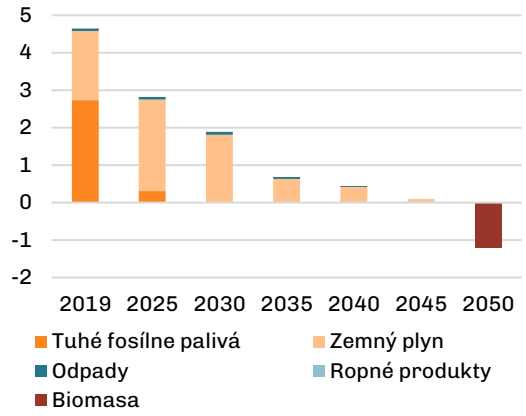
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 54: Primárna energetická spotreba podľa zdroja vo výrobe elektriny a tepla (WAM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 55: Emisie skleníkových plynov vo výrobe elektriny a tepla (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

5.1.2.5 Stabilita elektrickej siete

Zachovanie stability elektrickej siete je jednou z najväčších výziev rozvoja obnoviteľných zdrojov energie. Pre zachovanie stability elektrickej siete je v každom čase potrebné udržať približne rovnakú úroveň výroby a spotreby. Vzhľadom na to, že výrobu prostredníctvom niektorých zdrojov nie je možné jednoducho (a ekonomicky efektívne) regulovať, je potrebné mať k dispozícii dostatok zdrojov, ktoré zabezpečia rovnováhu medzi dopytom a ponukou. Viac informácií v Box 17.

V súčasnosti sa využívajú na reguláciu siete najmä plynové, biomasové a prečerpávacie vodné elektrárne (PVE). Zapojenie týchto zariadení v sieti je zabezpečované prostredníctvom zmlúv, ktorých súčasťou sú platby za reguláciu. Prečerpávacie elektrárne sú mimoriadne významné vďaka vysokému inštalovanému výkonu a flexibilite pri zadržiavaní vody v nádržiach.

Alternatívami s rastúcim využitím budú uschovávanie energie v batériách alebo vodíku, resp. regulácia spotreby na strane odberateľa. Cenová dostupnosť batérií a elektrolyzérov sa postupne zlepšuje, pričom je možné očakávať postupné zintenzívnenie ich využitia. Odozva na strane odberateľa (z angl. *Demand Side Response (DSR)*) sa v súčasnosti v malej miere využíva v priemysle, pričom potenciál pre takéto služby bude ďalej narastať.

Box 17: Stabilita siete

Rovnováha medzi dopytom a ponukou elektrickej energie je kľúčová pre stabilitu siete s frekvenciou 50 Hz. Akékoľvek, aj menej výrazné odchýlky od tejto hodnoty sú nežiaduce a môžu viesť k technickým problémom v sieti, ktoré môžu spôsobiť krátkodobé výpadky energie a viesť k poškodeniu infraštruktúry. Stabilná frekvencia siete vyžaduje prítomnosť flexibilných zdrojov a odberateľov schopných dynamicky reagovať na zmeny spotreby elektrickej energie.

Zabezpečenie stability je dôležité na úrovni prenosovej aj distribučnej sústavy. Slovenská elektrizačná prenosová sústava (SEPS) je súčasťou širšieho európskeho združenia operátorov prenosových sústav (ENTSO-E), ktoré, s ohľadom na jeho veľkú kapacitu, zabezpečuje pomerne malé odchýlky aj pri výpadkoch veľkých zdrojov. Menšie zdroje, akými sú veterné a slnečné elektrárne, sú napojené na lokálnu distribučnú sieť. V každej z týchto sústav je potrebné udržiavať frekvenciu blízku 50 Hz a zabezpečovať vyváženosť dopytu a ponuky. Pre účely udržiavania frekvencie je možné využívať toky medzi prenosovou a distribučnou sústavou, ktoré však majú rôzne napätie a energiu je potrebné medzi nimi transformovať.

Potreba akumulácie elektrickej energie nesúvisí len s vyrovnávaním frekvencie siete. Ukladanie energie umožňuje efektívnejšie využívať elektrinu z obnoviteľných zdrojov v čase, keď jej výroba prevyšuje spotrebu, a následne ju čerpať počas období nízkej výroby alebo vysokej záťaže siete. Akumulácia zároveň prispieva k znižovaniu cien elektriny prostredníctvom vyrovnávania cenových rozdielov medzi jednotlivými obdobiami. Uchovávanie energie sa uplatňuje nielen v rámci denného cyklu, keď sa strieda dopyt počas dňa a noci, ale aj v rámci sezónneho cyklu, ktorý odráža zmeny spotreby a výroby v priebehu roka.

Nízkouhlíkové zdroje elektrickej energie, ako sú jadrové, veterné a slnečné zdroje, vykazujú obmedzenú flexibilitu. Jadrové elektrárne sa vyznačujú pomalým nábehom a obmedzenou schopnosťou reakcie na výkyvy v dopyte, čo z nich robí nevhodné riešenie na krátkodobé úpravy výkonu. Slnečné a veterné elektrárne sú výrazne ovplyvnené charakterom počasia, pričom ich regulačný potenciál je skôr obmedzený.

Zabezpečenie stability siete je aktuálne závislé od flexbilných zdrojov, akými sú plynové, biomasové, vodné a prečerpávacie vodné elektrárne. Plynové a biomasové elektrárne sa vyznačujú rýchlym nábehom a schopnosťou flexibilne reagovať na výkyvy v dopyte po elektrickej energii. Zvýšené využívanie biomasy však môže ohroziť udržateľné hospodárenie lesných zdrojov, pokiaľ primerane neklesne spotreba v iných sektoroch. Vodné elektrárne môžu flexibilne reagovať na zmeny v dopyte prostredníctvom regulácie prietoku riek, čo z nich robí spoľahlivý nástroj na stabilizáciu siete. Prečerpávacie vodné elektrárne zohrávajú úlohu veľkých batérií, ktoré akumulujú prebytočnú energiu a uvoľňujú ju v čase zvýšenej spotreby. Navyšovanie kapacít PVE nie je modelované v žiadnom scenári.

Batérie môžu mimoriadne rýchlo reagovať na výkyvy v sieti. Ich flexibilita umožňuje efektívnu správu prebytočnej alebo chýbajúcej energie. Sú určené predovšetkým na krátkodobú úschovu energie, pri ktorej nedochádza k zásadnejším stratám. V súčasnosti sú považované za vhodný doplnok k solárnym panelom. Ide o ľahko škálovateľné zdroje, ktoré môžu mať rôzne veľký výkon. V budúcnosti môžu byž batériové systémy využité aj vo vozidlách, ktoré prostredníctvom systému *vehicle-to-grid* budú môcť dodávať energiu do siete.

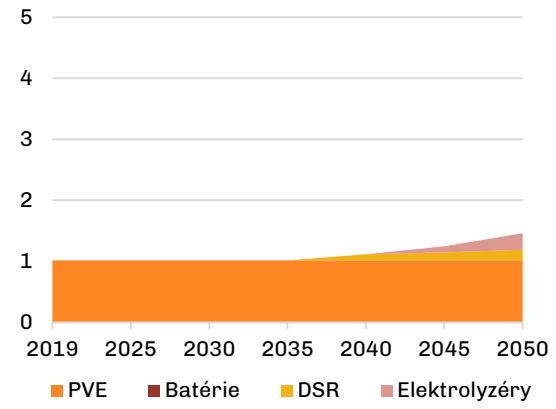
Produkciu vodíka je tiež možné prispôsobiť aktuálnym energetickým podmienkam. Počas obdobia vysokého dopytu môže výroba vodíka klesnúť, zatiaľ čo pri prebytku energie môže byť zvýšená. Energia uschovaná vo vodíku môže byť následne využitá priamym spaľovaním, v chemických procesoch (napr. vo výrobe hnojív), ale môže byť aj spätne premenená na elektrickú energiu. V súčasnosti je regulačný potenciál zeleného vodíka ekonomicky limitovaný, keďže kapitálové náklady na elektrolyzéry sú vysoké.

Odberatelia môžu pohotovo regulovať svoju činnosť tak, aby prispôsobili spotrebu podmienkam v sieti. Odozva na strane odberateľa - Demand Side Response (DSR) - poskytuje možnosť dynamického prispôsobenia spotreby elektrickej energie aktuálnej situácii v sieti**.** Odberatelia (najmä z oblasti priemyslu) môžu buď znížiť, alebo zvýšiť svoju hospodársku aktivitu v závislosti od potrieb siete. Podobné systémy však môžu fungovať aj v iných celkoch využívajúcich elektrickú energiu, ako napr. vo verejnom osvetlení.

V scenári WEM dôjde do roku 2050 k navýšeniu inštalovaného výkonu systémov zabezpečujúcich stabilitu siete o 43,7 % (440 MW). Vzhľadom na to, že spotreba elektrickej energie stúpne len mierne, bude veľká časť regulácie zabezpečovaná v súčasnosti prevádzkovanými zdrojmi. V malej miere sa očakáva využitie systémov DSR a po roku 2040 aj výroba vodíka prostredníctvom elektrolýzy.

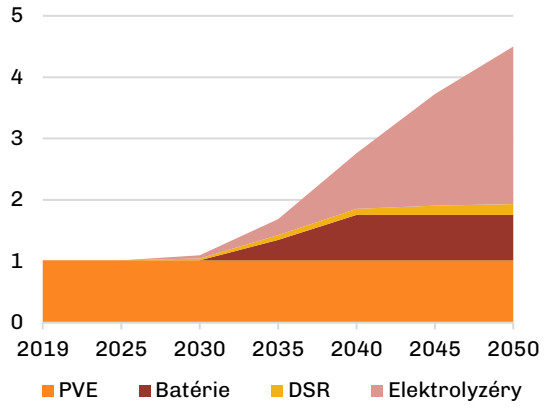
V scenári WAM stúpne dôsledkom zvýšenej spotreby a rozvoja OZE inštalovaný výkon regulačných systémov o 343 %. Výrazná časť tejto kapacity (približne 2,6 GW v roku 2050) bude pokrytá elektrolyzérmi. Elektrolyzéry budú okrem úschovy energie uspokojovať aj dopyt po vodíku, ktorý vznikne najmä v doprave a priemysle. Inštalovaný výkon batérií bude rásť do roku 2040, kedy dosiahne približne 741 MW. Ďalšie navyšovanie ich kapacít sa neočakáva najmä v dôsledku zvyšovania dopytu po vodíku. Služby DSR sa budú využívať iba v menšej miere. V oboch scenároch sa neočakáva navýšenie kapacít PVE.

Graf 56: Inštalovaný výkon vyrovnávacích systémov (WEM v GW)



Zdroj: IEP podľa CPS

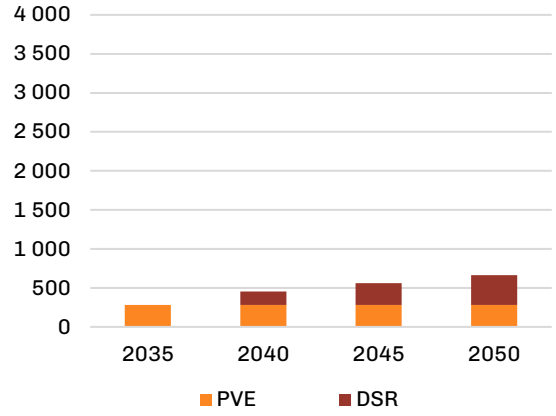
Graf 57: Inštalovaný výkon vyrovnávacích systémov (WAM v GW)



Zdroj: IEP podľa CPS

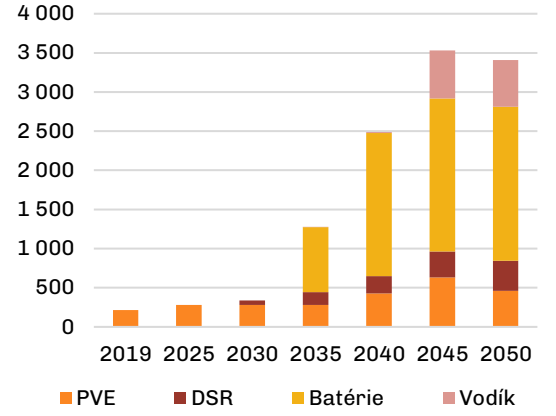
Využitie energie z úložných zdrojov vzrastie v scenári WEM na trojnásobok a v scenári WAM na skoro šestnásťnásobok. V scenári WEM zotrvá využitie prečerpávacích vodných elektrární (PVE) na približne rovnakej úrovni ako v súčasnosti, postupne bude rásť využitie systémov DSR, pričom v roku 2050 dosiahne využitie 383 GWh. V roku 2050 sa v scenári WAM využijú približne 2 TWh elektrickej energie z batérií a približne 0,6 TWh elektrickej energie znovu vyrobenej z vodíka. V dôsledku častejšieho využívania existujúcich kapacít sa navýši v scenári WAM využitie energie uloženej v PVE do roku 2040 približne na dvojnásobok.

Graf 58: Využitie elektrickej energie z úložných zdrojov (WEM, v GWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 59: Využitie elektrickej energie z úložných zdrojov (WAM, v GWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

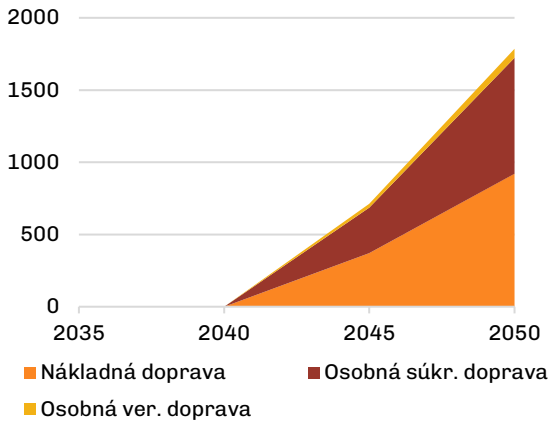
Vodík sa v súčasnosti vyrába prevažne zo zemného plynu. Očakáva sa, že dôjde k postupnému čiastočnému prechodu na výrobu vodíka prostredníctvom elektrolýzy vody. Súčasná výroba zo zemného plynu sa postupne transformuje na výrobu z potrubnej plynovej zmesi. Scenár WAM pre rok 2050 predpokladá využitie vodíka z elektrolýzy najmä v sektoroch dopravy, priemyslu a výroby elektrickej energie a v menšej miere aj v ostatných sektoroch prostredníctvom distribúcie v potrubnej plynovej zmesi.

V sektore dopravy bude vodík využívaný predovšetkým v nákladnej doprave. Predpokladá sa, že do roku 2050 v scenári WAM dosiahne podiel ťažkých nákladných vozidiel na vodíkový pohon dosiahne 53,3 % a ľahkých nákladných vozidiel 17,4 %. Nákladná preprava tak spotrebuje približne 4,4 TWh vodíka. Podiel osobných vozidiel na vodíkový pohon bude predstavovať 5,2 % so spotrebou približne 0,7 TWh. V scenári WEM v roku 2050 bude vodík z elektrolýzy používaný výhradne v doprave, kde podiel vodíkových ťažkých nákladných vozidiel dosiahne približne 9,7 % a ľahkých nákladných vozidiel 5,3 % a približne 5,8 % osobných vozidiel. S celkovou spotrebou vodíka 1,8 TWh.

Vyššia spotreba vodíka v scenári WEM v individuálnej doprave je zapríčinená pomalším nástupom batériových vozidiel.

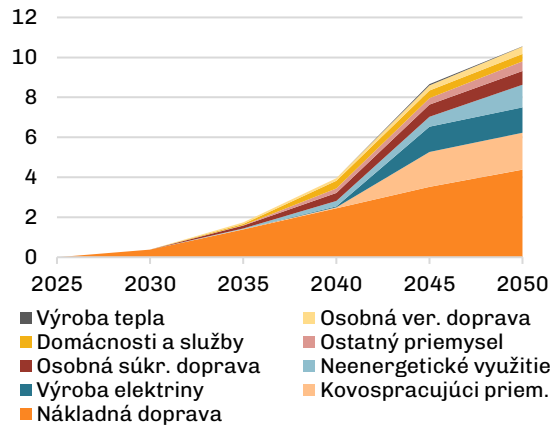
V súčasnosti je hlavné využitie vodíka v priemysle na výrobu hnojív a pohonných hmôt, pričom sa vyrába zo zemného plynu. V oceliarskom priemysle sa po roku 2045 vodík stane kľúčovou náhradou koksu vo výrobe ocele v procese priamej redukcie železnej rudy. Vodík na výrobu pohonných hmôt a hnojív bude naďalej vyrábaný z potrubnej zmesi. V roku 2040 bude približne pätina vodíka z elektrolýzy spotrebovaná v potrubnej plynovej zmesi. V roku 2050 bude v potrubnej plynovej zmesi približne 2,2 TWh vodíka. V sektore výroby elektrickej energie bude vodík plniť predovšetkým regulačnú úlohu.

Graf 60: Spotreba vodíka z elektrolýzy (WEM, v GWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 61: Spotreba vodíka z elektrolýzy (WAM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

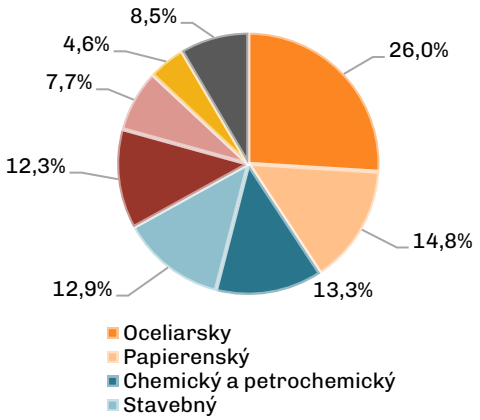
5.2 Priemysel

Priemysel produkuje viac ako 40 percent emisií skleníkových plynov SR. Najviac emisií produkuje oceliarsky priemysel, ktorého dekarbonizácia bude prebiehať najmä prostredníctvom prechodu na elektrické oblúkové pece a neskôr na priamu redukciu železnej rudy. V ostatných odvetviach sa budú fosílne palivá nahrádzať elektrinou, biomasou a odpadom. Umelé záchyty umožnia v neskorších rokoch znížiť aj ťažko odstrániteľné emisie.

5.2.1 Súčasný stav

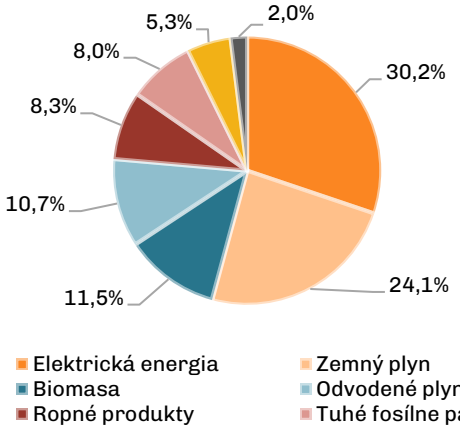
Konečná energetická spotreba palív v priemysle dosiahla v roku 2019 úroveň 40,3 TWh. Najviac využívané palivá v priemysle boli elektrická energia (12,2 TWh) a zemný plyn (9,8 TWh). Viac ako štvrtinu palív spotreboval oceliarsky priemysel (10,4 TWh), kde sa používali tuhé fosílne palivá, najmä koks, a odvodené plyny, ktoré vznikajú z tuhých fosílnych palív. Výraznú spotrebu mali aj papierenský (5,9 TWh), ako aj chemický a petrochemický priemysel (5,3 TWh). Energetická biomasa sa používala najmä v papierenskom priemysle.

Graf 62: Spotreba palív v priemysle v roku 2019 podľa odvetví (v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

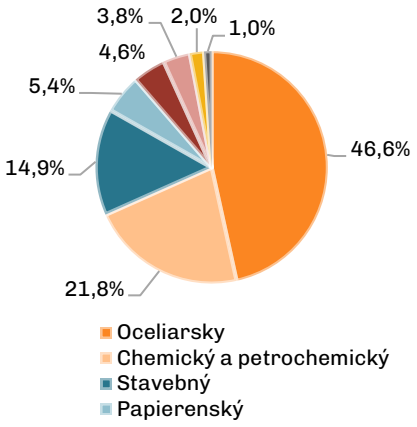
Graf 63: Spotreba palív v priemysle v roku 2019 podľa energonosiča (v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

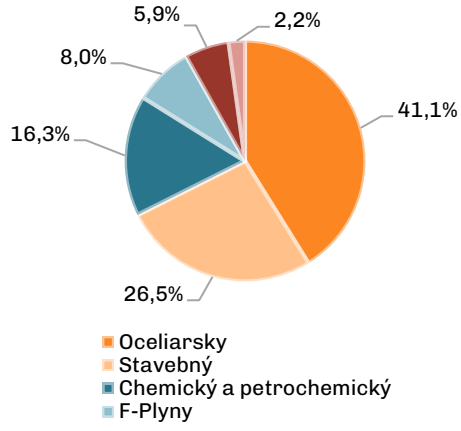
Emisie skleníkových plynov v priemysle pochádzajú jednak z energetického využitia palív, ale aj z priemyselných procesov a používania produktov[46]. Pod energetické využitie palív spadá ich využitie priamo pri výrobe (najmä na dosahovanie teplôt potrebných pri spracovaní materiálov), ale aj na výrobu elektriny a tepla, resp. vodnej pary. Emisie z energetického využitia palív dosiahli v roku 2019 objem približne 8,9 Mt CO_2 ekv. Emisie z priemyselných procesov vznikajú pri transformácii materiálov chemickým procesom, napríklad vo výrobe cementu alebo skla. Skleníkové plyny sa tiež využívajú ako hnacie alebo chladiace plyny, pričom tieto sa pri používaní uvoľňujú do ovzdušia. Medzi najpoužívanejšie patria F-plyny (fluorované plyny), ktorých emisie dosiahli v roku 2019 približne 690 kt CO_2 ekv. Celkovo bolo v roku 2019 vyprodukovaných približne 7,8 Mt CO_2 ekv. emisií z priemyselných procesov a používania produktov.

Graf 64: Emisie skleníkových plynov z energetického využitia palív podľa sektora v roku 2019



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 65: Emisie skleníkových plynov z IPPU podľa sektora v roku 2019



Zdroj: IEP podľa CPS

Box 18: Emisie z priemyselných procesov

Emisie z priemyselných procesov vznikajú pri transformácií materiálov chemickým procesom. Medzi ich najdôležitejšie zdroje patrí výroba železa a ocele, cementu, hliníka a tiež výroba vodíka, ktorý sa ďalej používa v chemickom a petrochemickom priemysle.

[46] Zodpovedá procesným emisiám a emisiám z používania produktov (tzv. IPPU).

V oceliarskom priemysle vznikajú procesné emisie pri spracovaní železnej rudy (Fe_2O_3, resp. Fe_3O_4) **na železo a oceľ**. Kyslík z oxidu železitého sa pri tejto reakcií naviaže na uhlík z koksu a vzniká oxid uhličitý.

$$2Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 2Fe_2 + 3CO_2$$

V procese je možné nahradiť koks za vodík, pričom namiesto CO_2 vzniká voda.

$$Fe_2O_3 + 3H_2 \rightarrow Fe_2 + 3H_2O$$

Pri výrobe **cementu** sa uvoľňuje CO_2 z dekompozície vápenca na nehasené vápno. Následne sa nehasené vápno zmieša s ďalšími chemikáliami ako sú oxid kremičitý, oxid hlinitý a oxidu draselného za vzniku cementu.

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$

Pri výrobe **hliníka** sa najprv oxid hliníka roztaví a následne sa procesom elektrolýzy separuje kyslík od hliníka.[47] Kyslík reaguje s uhlíkovými anódami za vzniku oxidu uhličitého.

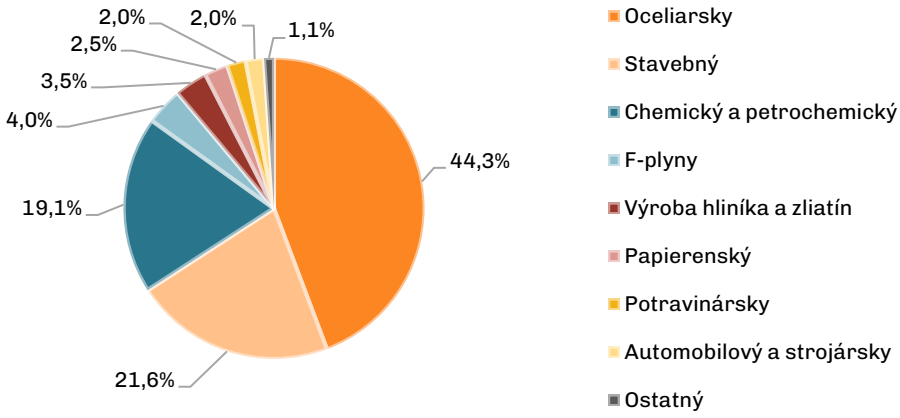
$$2Al_2O_3 + 3C \rightarrow 4Al + 3CO_2$$

Pri výrobe vodíka z metánu sa využíva reakcia pri ktorej sa za prítomnosti vodnej pary a teploty oddelí CO_2 a H_2. Dvojicou reakcií[48] sa metán s vodnou parou premení najprv na oxid uhoľnatý a potom na oxid uhličitý za uvoľnenia vodíka. Po separovaní oxidu uhličitého a vodíka sa oxid uhličitý môže priamo uskladniť. Vodík sa následne využíva ako palivo alebo v ďalších chemických reakciách, ako napríklad pri **výrobe hnojív**.

$$(CH_4 + H_2O) + H_2O \rightarrow (CO + 3H_2) + H_2O \rightarrow CO_2 + 4H_2$$

V roku 2019 bolo dokopy v priemysle vyprodukovaných 17,5 Mt CO_2 ekv., čo zodpovedalo 43,5 % emisií SR. Najväčší podiel pripadal na oceliarsky priemysel (7,6 Mt CO_2 ekv.), pričom výroba v oceliarskom priemysle dosiahla nižšiu úroveň ako v predošlých rokoch z dôvodu čiastočnej odstávky. Významný podiel mali aj výroba stavebných materiálov (najmä cementu) (3,7 Mt CO_2 ekv.) a chemický a petrochemický[49] priemysel (najmä rafinéria a výroba hnojív) (3,3 Mt CO_2 ekv.).

Graf 66: Podiel priemyselných odvetví na emisiách skleníkových plynov za rok 2019



Zdroj: IEP podľa Eurostat a SHMÚ

[47] Hall-Héroultov proces
[48] Reakcia parného reformingu metánu a posun reakcie vodnou parou
[49] Pod chemickým a petrochemickým priemysel spadajú kategorie emisné kategorie 1.A.1.b, 1.A.2.c a 2.b

5.2.2 Výsledky modelovania

5.2.2.1 Spotreba palív

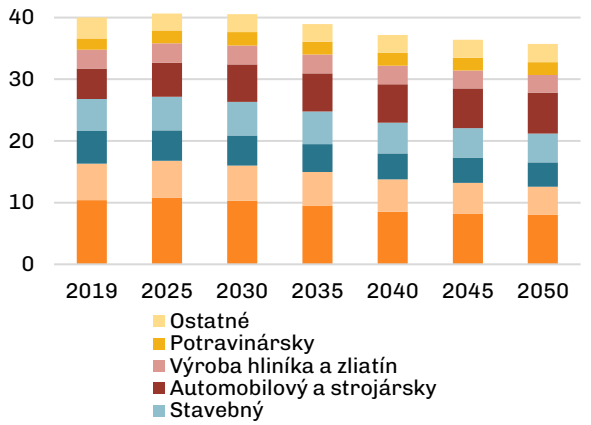
Konečná energetická spotreba v priemysle bude v scenári WEM do roku 2030 mierne rásť. Rozmach automobilového priemyslu spôsobí nárast spotreby v sektore do roku 2030 o približne pätinu. V oceliarskom priemysle sa očakáva mierny nárast spotreby v dôsledku nižšej východiskovej úrovne v roku 2019, ktorá bola zapríčinená odstávkou výroby. Navýšenie výroby sa tiež očakáva v potravinárskom priemysle.

Do roku 2050 dôjde v scenári WEM k zníženiu konečnej energetickej spotreby o 11 % oproti roku 2019. K zníženiu spotreby dôjde najmä v chemickom a petrochemickom priemysle (-25,6 %), papierenskom priemysle (-22,3 %) a oceliarskom priemysle (-23,1 %). Medzi odvetvia, ktoré zaznamenajú nárast spotreby energií, budú patriť automobilový a strojárenský (34,5 %), a potravinársky priemysel (13,2 %), kde sa spolu s nárastom pridanej hodnoty očakáva aj nárast spotreby energií.

V scenári WAM poklesne celková spotreba energií do roku 2030 o 10,2 % oproti roku 2019, najmä v dôsledku modernizácie oceliarskeho priemyslu. Po výmene dvoch vysokých pecí za elektrické oblúkové pece konečná energetická spotreba klesne o 3,9 TWh, čo predstavuje pokles o približne 37 % v odvetví.

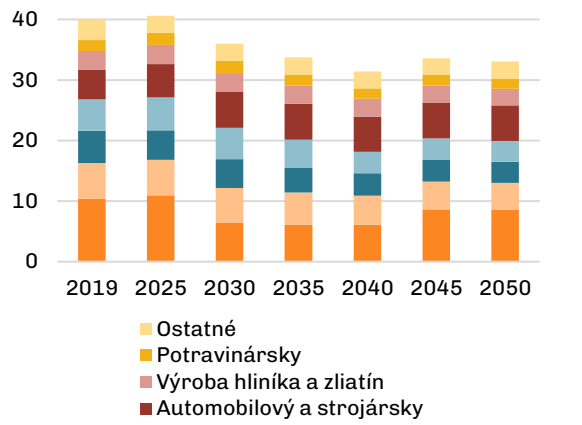
Do roku 2050 sa konečná energetická spotreba v scenári WAM v priemysle zníži o približne 17,6 %. V roku 2045 sa predpokladá výmena poslednej vysokej pece za technológiu priamej redukcie železa, pričom sa bude ako palivo používať vodík. Táto zmena však spôsobí navýšenie energetickej spotreby v oceliarskom priemysle o 40,7 % medzi rokmi 2040 a 2050. Naproti tomu, v priemyselných odvetviach mimo oceliarskeho dôjde k zníženiu konečnej energetickej spotreby o 17,2 % medzi rokmi 2030 a 2050. Tento pokles je dôsledkom výraznejšieho navyšovania ceny emisných kvót ETS, uplatňovania prísnejších energetických štandardov a tzv. *best available techniques*. Mimo oceliarskeho priemyslu bude konečne energetická spotreba klesať najmä po roku 2030.

Graf 67: Spotreba palív podľa odvetví do roku 2050 (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 68: Spotreba palív podľa odvetví do roku 2050 (WAM, v TWh)

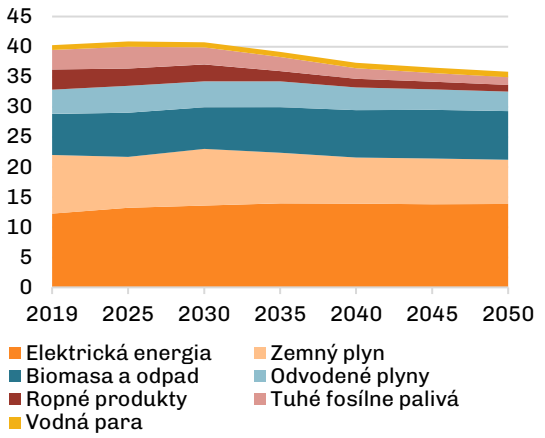


Zdroj: IEP podľa CPS

V scenári WAM priemysel upúšťa od fosílnych palív a výrazne sa elektrifikuje. Výmena vysokých pecí v oceliarňach v roku 2030 spôsobí pokles spotreby tuhých fosílnych palív a odvodených plynov pri výrobe ocele. V dôsledku elektrifikácie dopravy, petrochemický priemysel presmeruje svoju výrobu z pohonných hmôt na syntetické palivá a iné

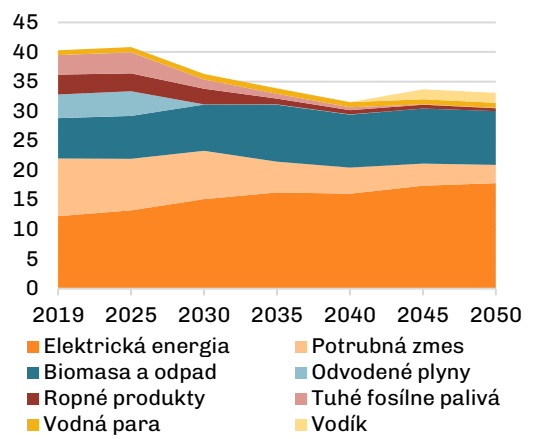
produkty. Do roku 2050 sa očakáva skoro úplný odklon od plynných fosilných palív v priemysle. V dôsledku nižšej spotreby biomasy vo vykurovaní budov bude možné biomasu využívať v priemysle vo väčšej miere.

Graf 69: Spotreba palív v priemysle do roku 2050 podľa energonosiča (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 70: Spotreba palív v priemysle roku 2050 podľa energonosiča (WAM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

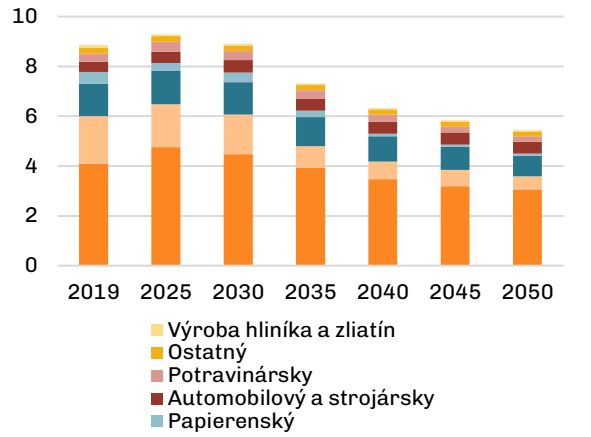
5.2.2.2 Emisie skleníkových plynov

Zmena v palivovej základni v scenári WEM povedie k poklesu emisií skleníkových plynov z energetického využitia palív v priemysle do roku 2050 približne o 38,5 %. Do roku 2030 zostanú emisie približne na rovnakej úrovni, neskôr budú postupne klesať najmä v oceliarskom aj chemickom a petrochemickom priemysle.

Do roku 2030 klesnú v scenári WAM emisie z energetického využitia palív v priemysle o 40 %. Pokles je zapríčinený najmä oceliarskym priemyslom a v menšej miere aj zmenami v chemickom a petrochemickom či stavebnom priemysle. Po dosiahnutí plnej výrobnej kapacity v oceliarskom priemysle v roku 2025 sa očakáva výmena vysokých pecí za elektrické, ktoré ušetria približne 3,5 Mt CO_2 ekv. na fosílnych palivách. Po započítaní úspory z procesných emisií celková úspora dosiahne 6 Mt CO_2 ekv.

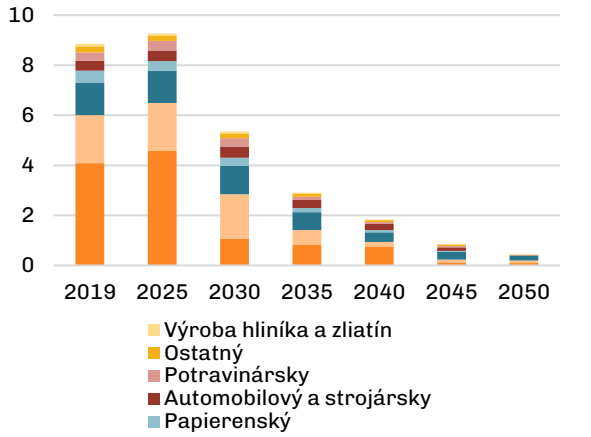
V ostatných priemyselných odvetviach v scenári WAM nastane výraznejší pokles až po roku 2030, medzi rokmi 2030 a 2050 klesnú emisie z energetického využitia palív v priemysle o 92,2 %. Vo výrobe cementu sa bude postupne zavádzať spaľovanie tuhých alternatívnych palív. V chemickom a petrochemickom priemysle sa v súčasnosti spracúva veľké množstvo ropy a ropných produktov najmä v súvislosti s výrobou pohonných hmôt pre automobily. Prechod na elektromobilitu je spojený so zníženým využívaním pohonných hmôt, čo v týchto priemyselných odvetviach zníži využívanie fosílnych palív, a tým aj emisie skleníkových plynov. Kým v sektore budov klesne spotreba biomasy využívanej na vykurovanie, v priemyselných odvetviach príde k rastu jej využitia, nakoľko sa predpokladá zachovanie úrovne ťažby a tiež salda v obchodovaní s biomasou.

Graf 71: Emisie skleníkových plynov z palív v priemysle do roku 2050 (WEM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 72: Emisie skleníkových plynov z palív v priemysle do roku 2050 (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

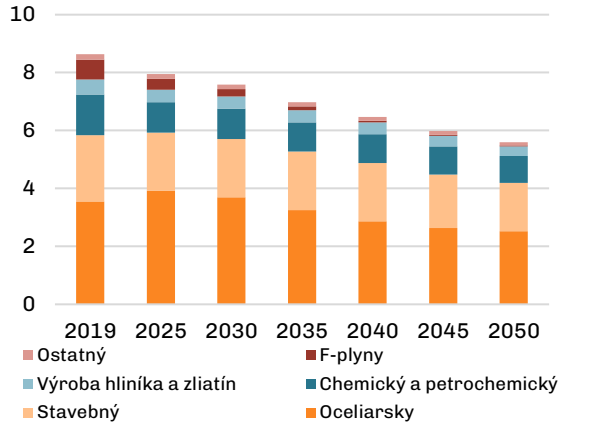
V scenári WEM emisie z priemyselných procesov klesajú mierne o 7,7 % do roku 2030 a o 30 % do roku 2050. Je to spôsobené mierne rastúcou cenou ETS a postupným zlepšovaním technológií. Pokles procesných emisií do roku 2050 nastane vo všetkých odvetviach priemyslu. V oceliarstve o 28,9 %, vo výrobe hliníka o 36,2 %, v chemickom a petrochemickom priemysle o 33,7 % a v stavebníctve o 27,1 %.

V scenári WAM sa už do roku 2030 výrazne zníži (o 42,3 %) množstvo emisií z priemyselných procesov. V úvodných rokoch sa v dôsledku zmien v oceliarskom priemysle očakáva pokles procesných emisií o 2,5 Mt CO_2 ekv. Vo výrobe cementu sa zvyšuje podiel recyklovaného stavebného odpadu. Približne od roku 2040 budú využívané umelé záchyty uhlíka na viazanie ťažko odstrániteľných procesných emisií, najmä v chemickom, petrochemickom a stavebnom priemysle (viac v kapitole 5.9 Umelé záchyty CO_2). Do roku 2050 v scenári WAM klesnú emisie z priemyselných procesov o 89,1 %.

Splnenie nového nariadenia o F-plynoch[50] zníži emisie z F-plynov o 91 % do roku 2030. Fluórované plyny (F-plyny) sú náhradou plynov poškodzujúcich ozónovú vrstvu, ktoré boli používané v chladničkách, sprejoch a klimatizáciách. F-plyny sú silnými skleníkovými plynmi a v roku 2019 tvorili približne 1,7 % všetkých emisií skleníkových plynov na Slovensku. V oboch scenároch dochádza k odklonu od používania F-plynov, no v scenári WAM je tento odklon rýchlejší najmä z dôvodu uplatnenia nového nariadenia o F-plynoch, ktoré určuje horné limity pre produkciu F-plynov. Scenár WEM berie do úvahy horné limity predošlého nariadenia z roku 2014, pričom by do roku 2030 emisie klesli o 62,9 %.

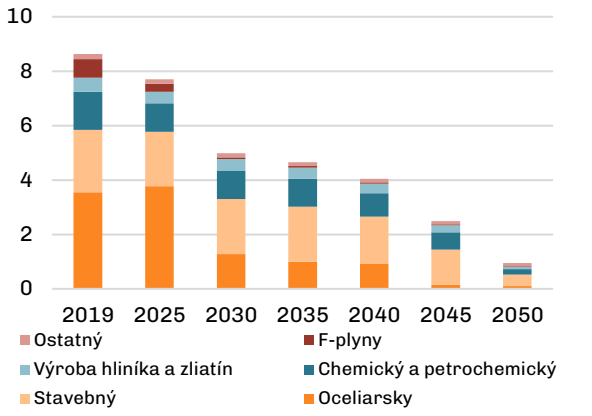
[50] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2024/573 zo 7. februára 2024 o fluórovaných skleníkových plynoch, ktorým sa mení smernica (EÚ) 2019/1937 a zrušuje nariadenie (EÚ) č. 517/2014

Graf 73: Emisie skleníkových plynov z IPPU do roku 2050 (WEM, v Mt CO_2 ekv.)



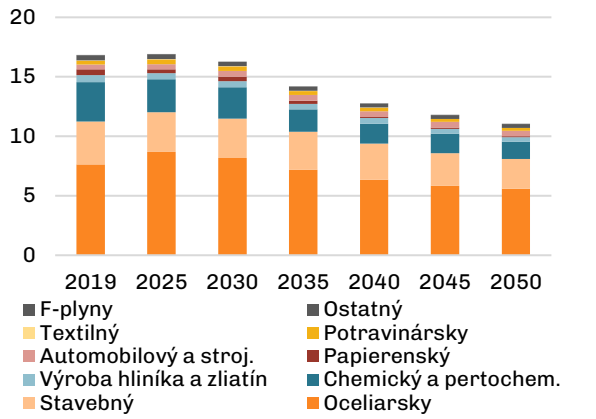
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 74: Emisie skleníkových plynov z IPPU do roku 2050 (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



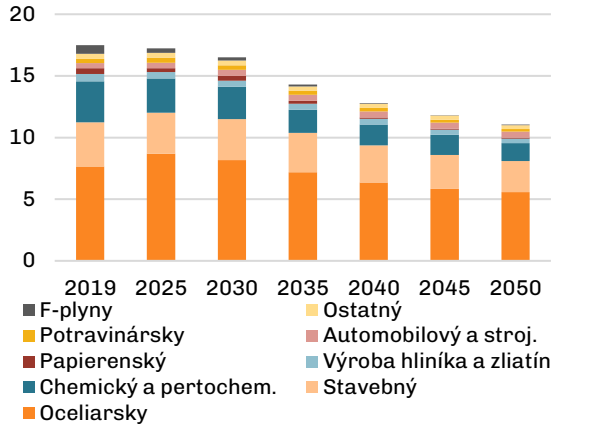
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 75: Celkové emisie skleníkových plynov v priemysle do roku 2050 (WEM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 76: Celkové emisie skleníkových plynov v priemysle do roku 2050 (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

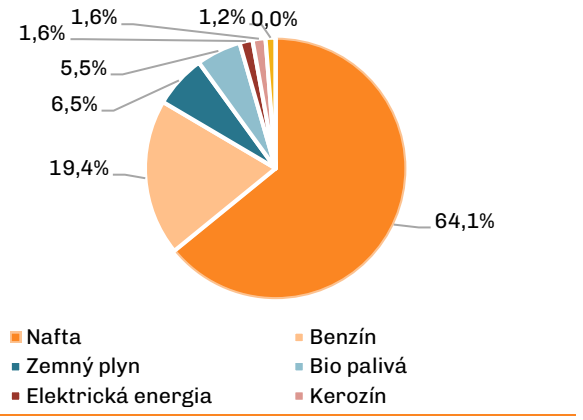
5.3 Doprava

Väčšina emisií v sektore dopravy pochádza z cestnej dopravy, ktoré sa dlhodobo zvyšujú spolu s rastúcou životnou úrovňou. Dopyt po doprave je spojený s ekonomickým rastom, a preto do budúcnosti očakávame pokračovanie jeho nárastu. Pre dekarbonizáciu dopravy je kľúčové zvyšovanie využitia bezemisných pohonov, a to najmä elektrifikáciou. V menšej miere sa očakáva zvýšenie využitia biopalív a neskôr nástup vodíka. Čiastkový efekt má tiež presun z individuálnej do hromadnej osobnej dopravy.

5.3.1 Súčasný stav

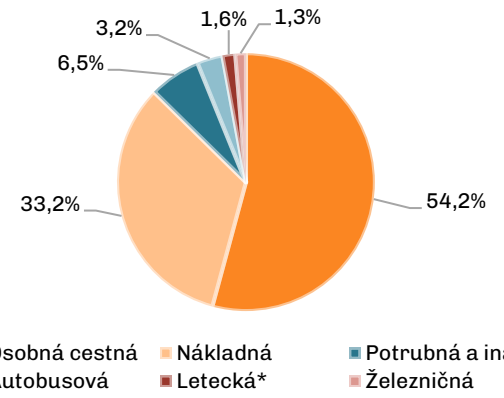
V roku 2019 dosiahla konečná energetická spotreba sektora dopravy úroveň 33 TWh. Cestná doprava zodpovedala za 90,6 % celkovej energetickej spotreby v doprave, letecká medzinárodná doprava za 1,6 % a železničná doprava za 1,3 %. Najviac sa spotrebovalo nafty (64,1 %) a benzínu (19,4 %). V menšej miere sa využívali biopalivá ako prídavné zložky do nafty a benzínu. Zemný plyn (6,5 %) sa využíval najmä v potrubnej preprave zemného plynu, elektrická energia v železničnej a kerozín v leteckej doprave.

Graf 77: Spotreba palív v doprave (v %, v roku 2019)



Zdroj: IEP podľa Eurostatu

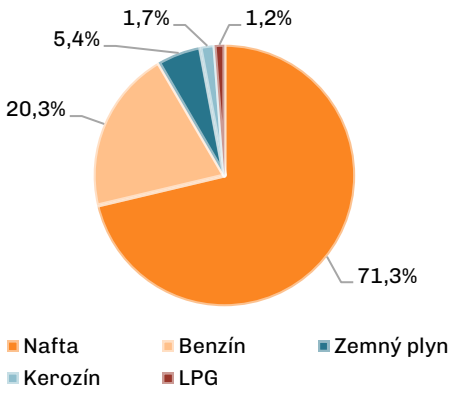
Graf 78: Spotreba energií podľa druhu dopravy (v %, v roku 2019)



**Vrátane leteckej medzinárodnej*
Zdroj: IEP podľa Eurostatu

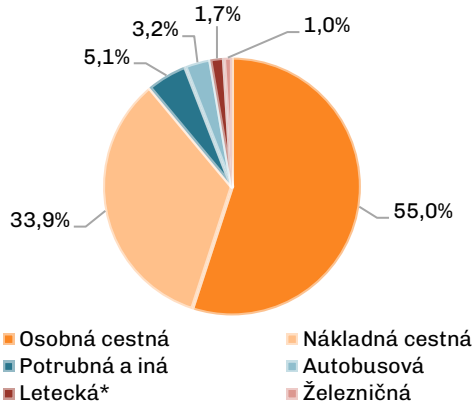
V roku 2019 bolo v sektore dopravy vyprodukovaných približne 8,1 Mt CO_2 ekv[51], čo zodpovedá 20,4 % všetkých emisií skleníkových plynov SR. Väčšina emisií pochádza z cestnej dopravy (93,9 %), ktorá je preto najkritickejšou pre znižovanie emisií skleníkových plynov. Zvyšok emisií pochádza z potrubnej prepravy zemného plynu (4,9 %) a železničnej dopravy (1,1 %). Domáca letecká a lodná doprava sa na emisiách podieľajú v miere menšej ako 0,1 %. Emisie z medzinárodnej leteckej a lodnej dopravy sa pre účely aktuálne stanovených národných cieľov nezapočítavajú. V modeli CPS je ale obsiahnutá aj medzinárodná letecká doprava, preto je vo výsledkoch uvedená.

Graf 79: Emisie z dopravy podľa typu paliva (v %, v roku 2019)



Zdroj: IEP podľa Eurostatu

Graf 80: Emisie podľa typu dopravy (v %, v roku 2019)

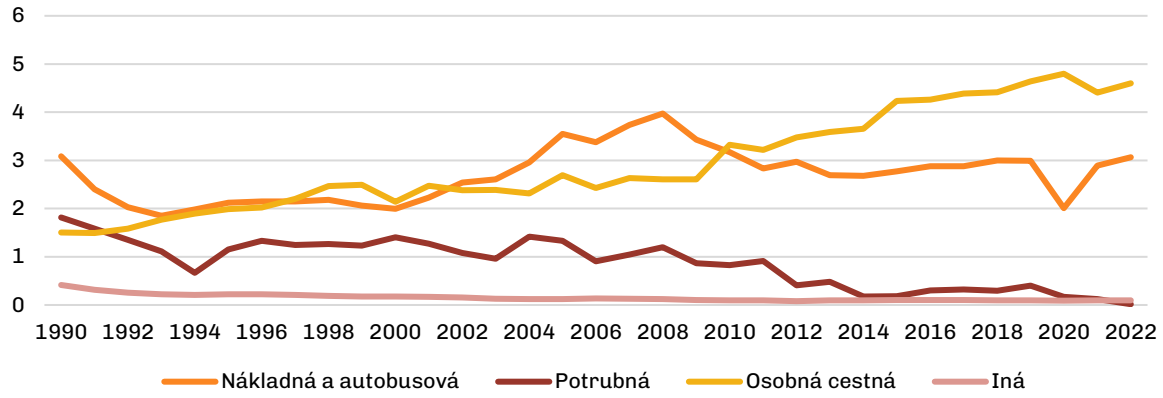


**Vrátane medzinárodnej*
Zdroj: IEP podľa Eurostatu

Emisie z cestnej dopravy majú z dlhodobého hľadiska rastúci trend. Je to spôsobené najmä zvyšovaním počtu osobných, ale aj úžitkových vozidiel, s ktorým rastie aj ich využitie a spotreba palív. Tento vplyv mierne znižuje rast podielu bio zložky v nafte a benzíne a tiež zlepšovanie energetickej efektívnosti vozidiel (nižšia spotreba palív).

[51] Podľa údajov SHMÚ

Graf 81: Emisie z dopravy v rokoch 1990 až 2022 (v Mt CO_2 ekv.)



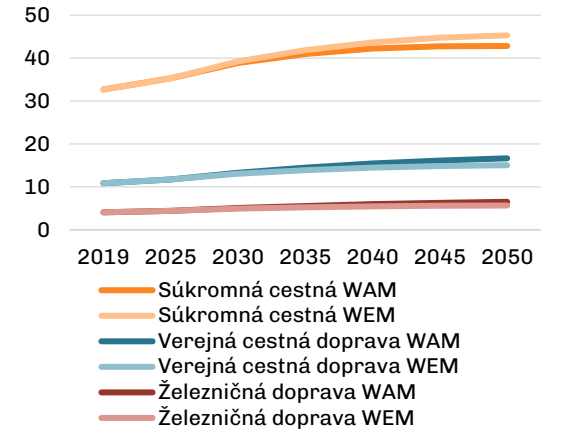
Zdroj: SHMÚ

5.3.2 Výsledky modelovania

5.3.2.1 Prognóza stavu flotily v cestnej doprave

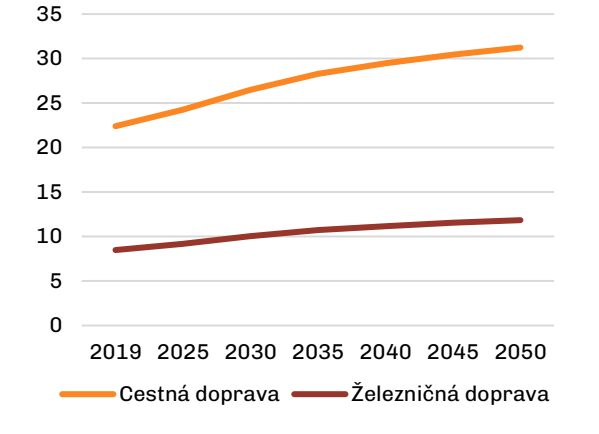
V scenári WAM sa očakáva mierny presun zo súkromnej do verejnej osobnej dopravy. S rastúcou životnou úrovňou rastie aj dopyt po preprave osôb a tovaru. V dôsledku zvýšenej podpory verejnej dopravy narastie verejná cestná doprava o 10,7 % a železničná o 15,3 % v roku 2050 oproti scenáru WEM. Súkromná cestná doprava naopak klesne o 5,5 %. V nákladnej deprave sa očakáva rovnaký nárast aktivity v oboch scenároch.

Graf 82: Osobná doprava (v mld. osobokilometroch)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 83: Nákladná doprava (v mld. tonokilometroch)



Zdroj: IEP podľa CPS

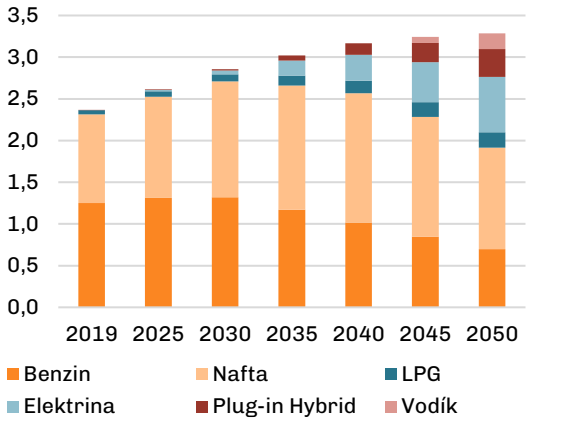
Počet osobných vozidiel sa bude zvyšovať až do roku 2050 na 3,1 (WAM) až 3,3 (WEM) milióna kusov kvôli rastu životnej úrovne. Predpokladaný počet vozidiel na spaľovací pohon dosiahne maximum v roku 2030 v scenári WEM a už v roku 2025 v scenári WAM. Po týchto rokoch budú nové vozidlá predovšetkým batériové, plug-in hybridy a neskôr aj vodíkové. V scenári WAM výraznejšie vzrastá kvalita verejnej dopravy, čím sa čiastočne stĺmi rast počtu osobných vozidiel.

Podiel osobných vozidiel na batériový elektrický pohon bude rásť v oboch scenároch. Dôvodom je parita dlhodobých nákladov vlastníctva vozidiel na batériový elektrický pohon so spaľovacím pohonom, ktorá nastane medzi rokmi 2025 až 2030. Z dôvodu úspor z rozsahu sa očakáva dodatočné znižovanie cien elektrických vozidiel. V scenári WAM podporia dodatočný prechod na batériové elektrické vozidlá opatrenia, akými sú zavedenie emisných kvót v cestnej doprave (ETS2) alebo podpora nabíjacej infraštruktúry. V roku 2040 dosiahne v scenári WAM počet elektrických osobných

vozidiel nadpolovičnú väčšinu (58,7 %) a v roku 2050 bude približne 92,4 % všetkých osobných vozidiel elektrických.

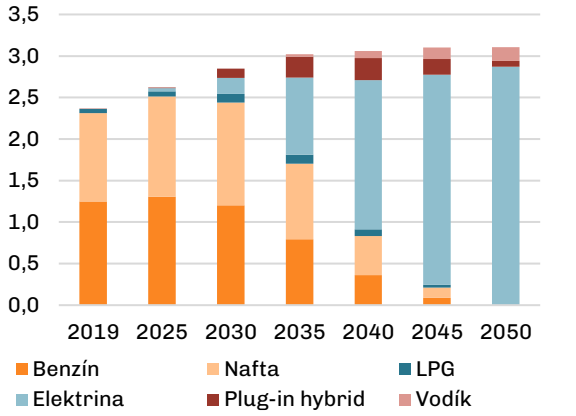
Plug-in hybridy a vozidlá na vodíkový elektrický pohon budú využívané v menšej miere v oboch scenároch. Plug-in hybridy sú prechodnou technológiou kombinujúcou batériu a spaľovací motor. V scenári WAM ich využitie bude rásť najmä v rokoch 2030 a 2035, po tomto období začne ich počet mierne klesať v prospech batériových elektrických vozidiel. V scenári WEM má využívanie plug-in hybridov oneskorený nábeh a budú využívané najmä po roku 2040. Pre zabezpečenie bezemisnosti je v modeli vodík využívaný vo vozidlách vyrábaný elektrolýzou vody, preto je navyšovanie jeho podielu naviazané na inštalovaný výkon elektrolyzérov a dostupnosť elektrickej energie. V scenári WEM ich využívanie vo väčšej miere nastane až okolo roku 2045. V scenári WAM sa budú používať už pred rokom 2035, ale ich rozvoj je obmedzený trhovou dominanciou finančne dostupnejších elektrických vozidiel. Vozidlá na vodíkový elektrický pohon budú mať vysoký podiel využitia najmä v ťažkej úžitkovej doprave, menej využívané budú v autobusovej a individuálnej osobnej doprave.

Graf 84: Počet osobných vozidiel podľa pohonu (WEM, v mil. ks)



Zdroj: IEP podľa CPS

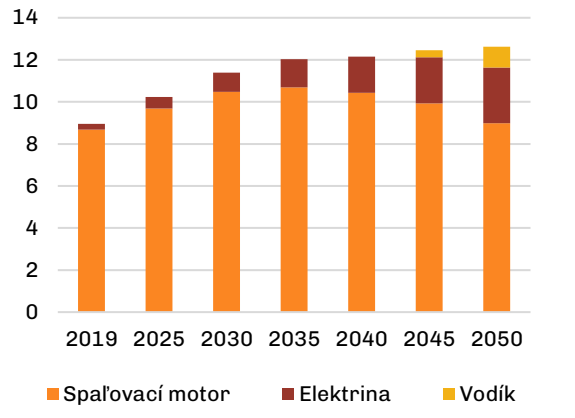
Graf 85: Počet osobných vozidiel podľa pohonu (WAM, v mil. ks)



Zdroj: IEP podľa CPS

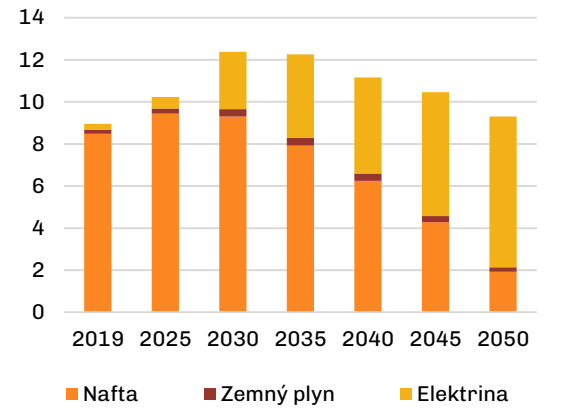
Podpora verejnej autobusovej dopravy prispeje k rastu jej využívania v scenári WAM. Dopyt po preprave osôb je pokrytý buď súkromnou, alebo verejnou dopravou. Pri predpokladanej podpore verejnej autobusovej dopravy sa v scenári WAM mierne zvýši jej využívanie na úkor využívania osobných vozidiel. Okolo 49,1 % vozidiel verejnej autobusovej dopravy bude v scenári WAM v roku 2040 nízkoemisných. V roku 2050 zostane ešte 15,3 % autobusov so spaľovacím motorom.

Graf 86: Počet autobusov podľa pohonu (WEM, v tis. ks)



Zdroj: IEP podľa CPS

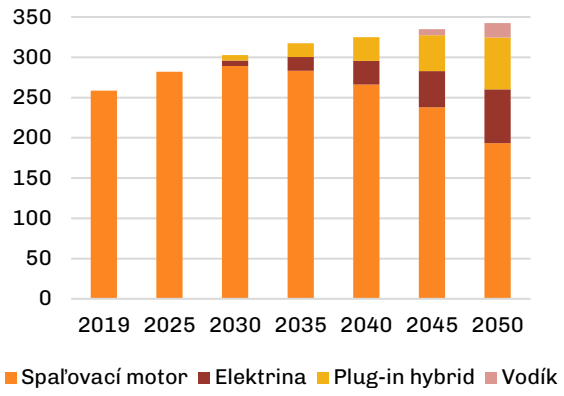
Graf 87: Počet autobusov podľa pohonu (WAM, v tis. ks)



Zdroj: IEP podľa CPS

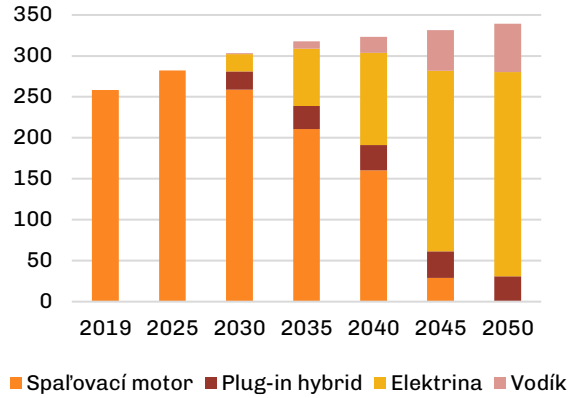
Počet ľahkých a ťažkých úžitkových vozidiel bude rásť z dôvodu vyššieho dopytu po preprave tovaru. Ľahké úžitkové vozidlá (ĽÚV) v scenári WEM budú postupne prechádzať na elektrický a hybridný pohon. V scenári WAM je v dôsledku opatrení na podporu elektromobility urýchlený nástup elektrických ĽÚV. Vodíkové ĽÚV budú využívané najmä v scenári WAM, ich podiel dosiahne 17,5 % v roku 2050. Využitie vodíkového elektrického pohonu sa kvôli vysokej hmotnosti batérií očakáva najmä v kategórii ťažkých úžitkových vozidiel, ich podiel v tomto segmente dosiahne 53,3 % v roku 2050.

Graf 88: Počet ľahkých úžitkových vozidiel podľa pohonu (WEM, v tis. ks)



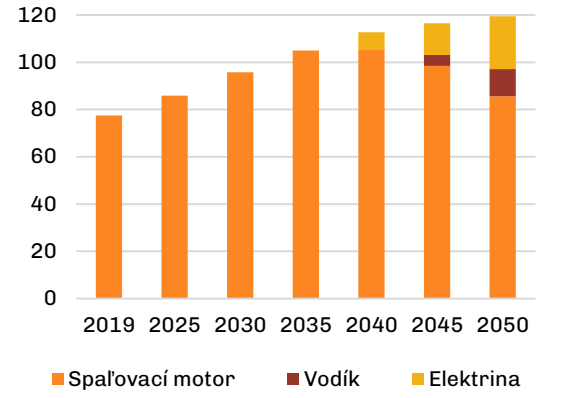
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 89: Počet ľahkých úžitkových vozidiel podľa pohonu (WAM, v tis. ks)



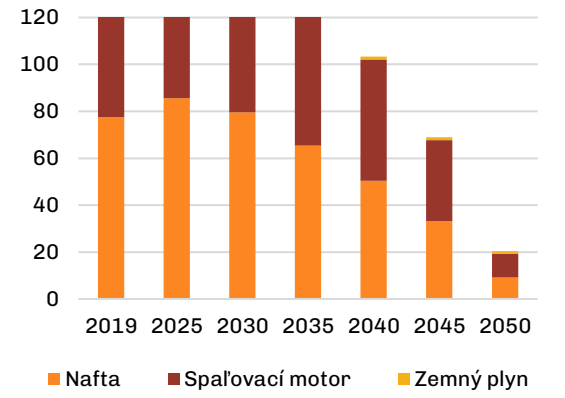
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 90: Počet ťažkých úžitkových vozidiel podľa pohonu (WEM, v tis. ks)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 91: Počet ťažkých úžitkových vozidiel podľa pohonu (WAM, v tis. ks)



Zdroj: IEP podľa CPS

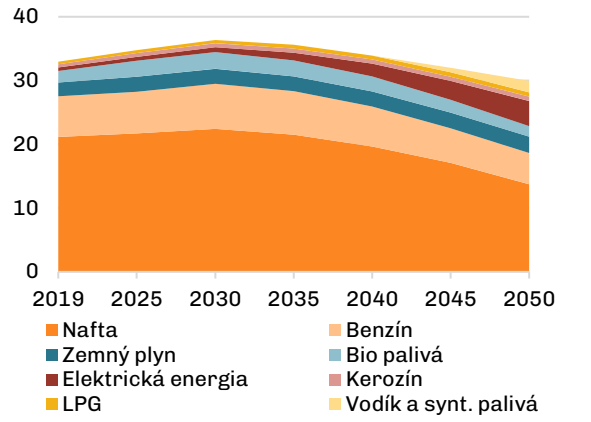
5.3.2.2 Spotreba energií

Batériový elektrický pohon je efektívnejší ako spaľovací pohon, preto je elektrifikácia spojená aj so znížením celkového množstva spotrebovanej energie. Dôvodom nižšej energetickej efektívnosti spaľovacích motorov sú vysoké tepelné straty a to, že obsahujú viac pohyblivých častí. V porovnaní s batériovým elektrickým pohonom má vodíkový elektrický pohon nižšiu energetickú efektívnosť. Je to spôsobené najmä stratami pri elektrolýze a spätnom prechode na elektrickú energiu. Napriek týmto stratám vodík poskytuje mierne energetické úspory v porovnaní s naftou a benzínom.

Scenár WEM dosahuje vrchol spotreby energií v roku 2030 na úrovni 36,4 TWh. Spotreba biopalív sa do roku 2030 navýši o 44,5 %. Následne bude spotreba biopalív klesať súbežne s poklesom spotreby fosílnych palív, do ktorých sa primiešavajú. Do roku 2050 mierne klesne celková energetická spotreba sektora dopravy 30 TWh. Zastúpenie elektrickej energie na celkovej energetickej spotreby bude 13,2 %.

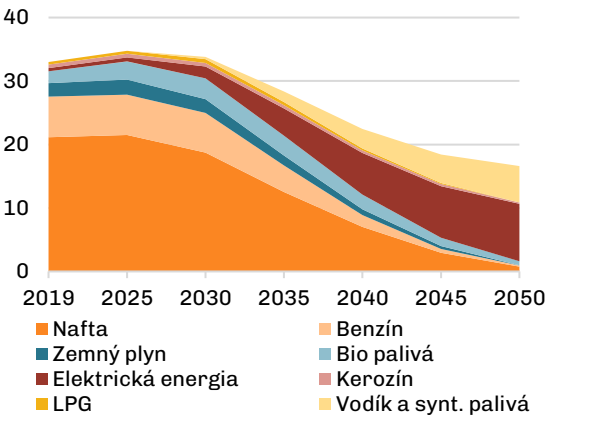
Vrchol energetickej spotreby sa v scenári WAM dosiahne už v roku 2025 na úrovni 34,8 TWh. Spotreba biopalív sa do roku 2030 navýši o 79,8 %. Po roku 2030 sa tiež biopalivá budú vo vyššej miere, spolu so syntetickými palivami, využívať aj v leteckej doprave. Medzi rokmi 2030 a 2050 prechod na elektromobilitu spôsobí pokles využívania biopalív, ktoré sa primiešavajú do fosílnych palív. V roku 2050 bude celková energetická spotreba v sektore dopravy približne 16,6 TWh z čoho približne 54,4 % bude tvoriť elektrická energia a vodík približne 34,5 %.

Graf 92: Palivá v doprave do roku 2050 (v TWh, scenár WEM)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 93: Palivá v doprave do roku 2050 (v TWh, scenár WAM)



Zdroj: IEP podľa CPS

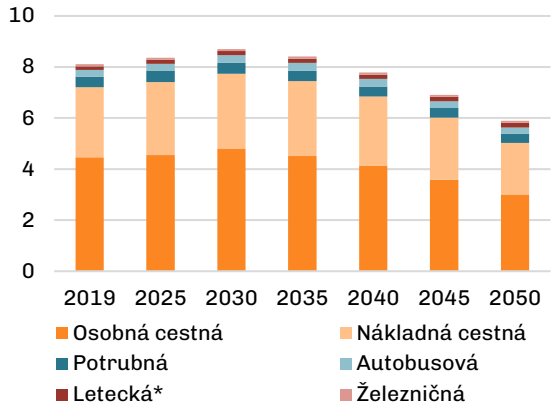
5.3.2.3 Emisie skleníkových plynov

Emisie z dopravy v scenári WEM dosiahnu svoje maximum v roku 2030. Dodatočný nárast emisií v cestnej doprave oproti roku 2019 (+6,4 %) je zapríčinený celkovým nárastom dopravnej aktivity a nízkym množstvom bezemisných vozidiel. Po roku 2030 dochádza k postupnému znižovaniu emisií v dôsledku rastu podielu batériových elektrických vozidiel, plug-in hybridov a v neskorších rokoch aj vodíkových vozidiel.

V scenári WAM emisie z cestnej dopravy dosiahnu svoje maximum už v roku 2025 a do roku 2050 klesnú o 96,5 % oproti roku 2019. Pokles po roku 2025 je spôsobený najmä nárastom počtu elektrických vozidiel. K zníženiu emisií prispeje aj zvyšovanie podielu bio zložky v nafte a benzíne, čím aj celkovo vzrastie podiel biopalív v konečnej energetickej spotrebe z 5,5 % na 9,7 % v roku 2030.

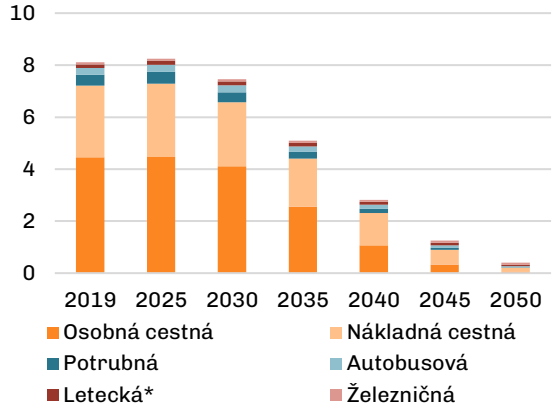
Emisie z inej ako cestnej dopravy tvorili v roku 2019 dokopy 7,9 % a pochádzajú z potrubnej, železničnej a medzinárodnej leteckej dopravy. Znižovanie emisií v potrubnej doprave úzko súvisí so znižujúcou sa spotrebou zemného plynu v ostatných sektoroch. Železničná doprava v modeli CPS nebola modelovaná, namiesto toho očakávame pokračovanie historických trendov. V leteckej medzinárodnej doprave výraznejšie znižovanie emisií nastáva až po roku 2030, kedy sa začnú do palivovej zmesi primiešavať vyššie podiely syntetických palív a biopalív.

Graf 94: Emisie v doprave do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv., scenár WEM)



*Vrátane medzinárodnej
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 95: Emisie v doprave do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv., scenár WAM)



* Vrátane medzinárodnej
Zdroj: IEP podľa CPS

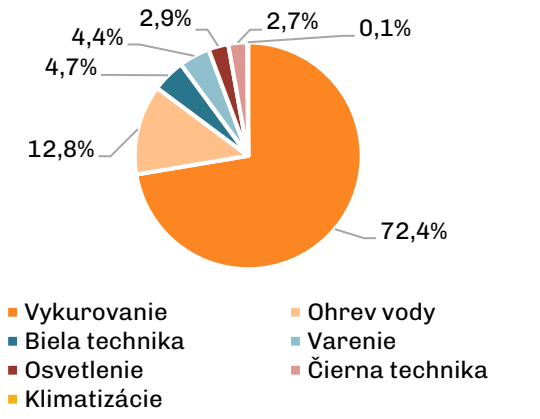
5.4 Domácnosti

Až približne 85 % energetickej spotreby v domácnostiach sa používa na vykurovanie a ohrev vody. Na tieto činnosti sa využíva najmä zemný plyn, biomasa a v menšej miere aj elektrická energia. K výraznému zníženiu emisií skleníkových plynov do roku 2050 prispeje najmä zvyšujúca sa miera zateplenia budov a prechod na efektívnejšie vykurovacie zdroje, akými sú napríklad tepelné čerpadlá.

5.4.1 Súčasný stav

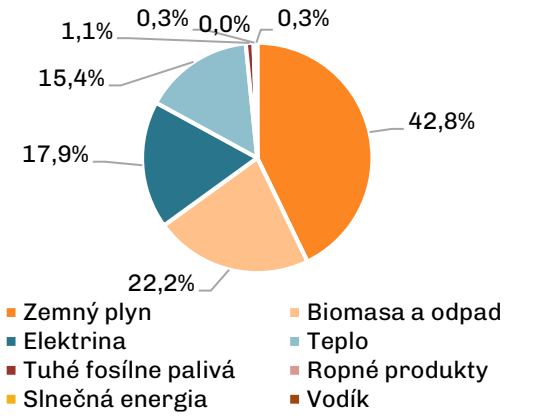
Konečná energetická spotreba domácností v roku 2019 dosiahla približne 30,4 TWh, čo je okolo 26 % z celkovej konečnej energetickej spotreby krajiny. Väčšina energie spotrebovanej domácnosťami slúžila na vykurovanie (72,4 %) a ohrev vody (12,8 %). Teplo z centrálneho zásobovania pokrývalo približne 18,1 % spotreby energií na vykurovanie a ohrev vody, čo predstavuje 15,4 % celkovej spotreby energií v sektore domácností. Najčastejšie využívanými palivami boli zemný plyn (13 TWh), biomasa (6,8 TWh) a elektrická energia (5,5 TWh).

Graf 96: Konečná energetická spotreba domácností podľa využitia v roku 2019



Zdroj: IEP podľa Eurostat

Graf 97: Konečná energetická spotreba domácností podľa palív v roku 2019[52]

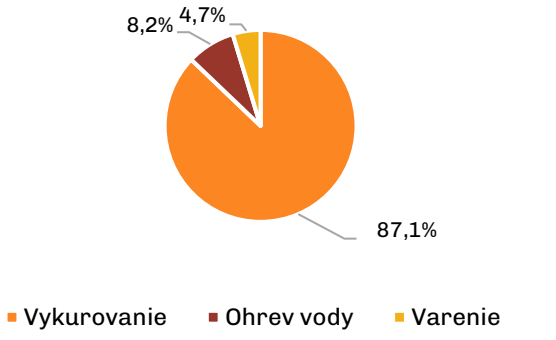


Zdroj: IEP podľa Eurostat

[52] Rozdiel v metodikách a zdrojoch Eurostatu a SHMÚ vedú k rozdielnemu rozdeleniu palív v domácnostiach a službách. Vzhľadom, že celá práca je založená na Eurostate aj tu uvádzame rovnaký zdroj.

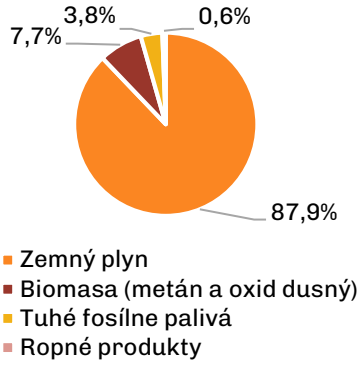
V roku 2019 tvorili skleníkové plyny z domácností približne 3 Mt CO_2 ekv.[53]**,** čo zodpovedalo približne 7,5 % emisií skleníkových plynov SR. Emisie pochádzali najmä zo zemného plynu (87,9 %), ktorý sa využíva na vykurovanie, ohrev vody a varenie. Emisie metánu a oxidu dusného z energetickej biomasy predstavovali približne 7,7 %. V menšej miere emisie pochádzali aj z tuhých fosílnych palív a ropných produktov využívaných prevažne na vykurovanie a v menšej miere aj na ohrev vody. Emisie z výroby elektrickej energie a tepla z centrálneho zásobovania sa v tomto sektore nezapočítavajú.

Graf 98: Podiel emisií CO_2 ekv. podľa koncového využitia v domácnostiach v roku 2019



Zdroj: IEP podľa Eurostat

Graf 99: Podiel emisií CO_2 ekv. v domácnostiach podľa paliva v roku 2019



Zdroj: IEP podľa Eurostat

5.4.2 Výsledky modelovania

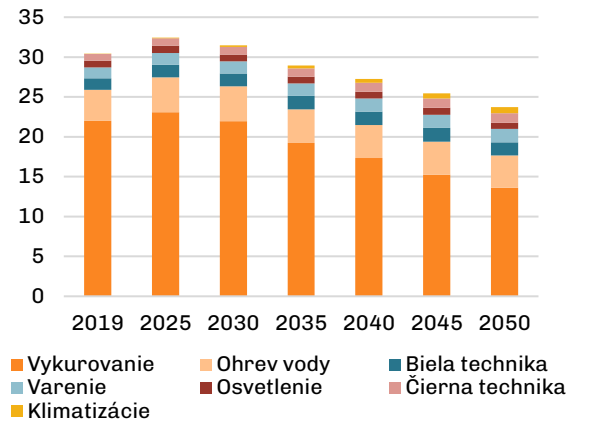
5.4.2.1 Spotreba palív

V scenári WEM sa do roku 2030 konečná energetická spotreba domácností navýši približne o 3,4 % oproti roku 2019. Do roku 2050 spotreba klesne približne o 22 % oproti roku 2019. Zvýšenie do roku 2030 je spôsobené najmä rastom životnej úrovne a nízkou základnou úrovňou vykurovania v roku 2019. Časť zvýšenia spotreby sa podarí zvrátiť prostredníctvom investícií do zlepšenia energetickej efektívnosti budov. Postupne sa bude rozširovať aj využitie tepelných čerpadiel. Do roku 2050 sa energetická spotreba bude znižovať vďaka zvýšenej cenovej dostupnosti efektívnejších technológií a zateplenia. Klesne najmä spotreba energií na vykurovanie (o 38 %) a osvetlenie (o 11 %) oproti roku 2019. Výrazne stúpne spotreba elektrickej energie na účely chladenia. Ide o dôsledok rastúcej životnej úrovne a vyššej potreby chladenia z dôvodu zmeny klímy.

Vďaka dodatočným opatreniam v scenári WAM sa očakáva do roku 2050 pokles konečnej energetickej spotreby o 56,1 % oproti roku 2019. V dôsledku zavedenia systému ETS2 sa v scenári WAM dosiahnu vyššie energetické úspory prostredníctvom zatepľovania či výmeny okien. Taktiež sa zvýši miera využitia tepelných čerpadiel, ktoré majú výrazne nižšiu spotrebu energie. Okrem zníženia energetickej náročnosti vykurovania sa očakáva aj úplný prechod na LED žiarovky, čím sa zníži spotreba elektrickej energie na osvetlenie približne o 80 %.

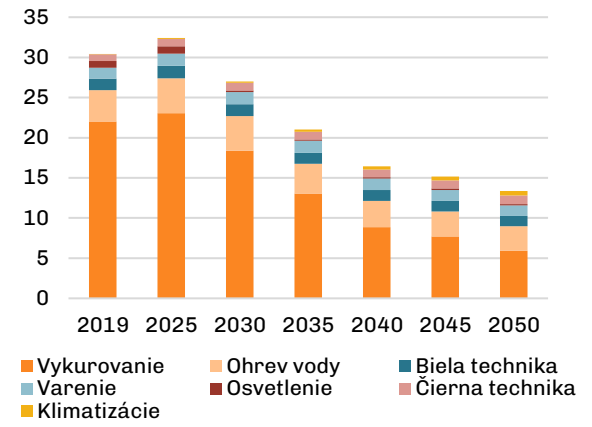
[53] Podľa údajov o palivách z Eurostat

Graf 100: Konečná energetická spotreba domácností podľa využitia do roku 2050 (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 101: Konečná energetická spotreba domácností podľa využitia do roku 2050 (WAM, v TWh)



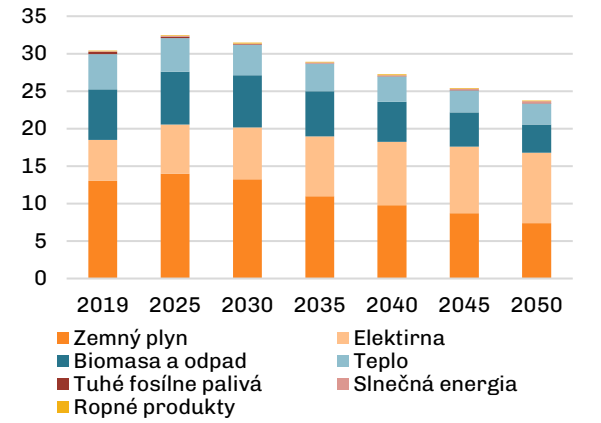
Zdroj: IEP podľa CPS

Znížený dopyt po teple vedie k odklonu od tuhých fosílnych palív a centrálneho zásobovania teplom najmä v scenári WAM. Spotreba tuhých fosílnych palív sa v oboch scenároch výrazne zníži už do roku 2030, pričom neskôr sa tieto palivá prestanú používať úplne. Dopyt po teple z centrálneho zásobovania klesne do roku 2050 o 40 % (WEM) resp. o 91 % (WAM). Spotreba elektrickej energie v domácnostiach sa do roku 2030 navýši o 27,5 % (WEM), resp. o 11,7 % (WAM). V scenári WAM je spotreba elektrickej energie nižšia ako v scenári WEM najmä vďaka lepšej energetickej efektívnosti budov, úsporám v osvetlení a vyššiemu využitiu tepelných čerpadiel.

Využívanie zemného plynu sa bude znižovať v prospech elektrickej energie v oboch scenároch. V scenári WEM sa do roku 2050 zníži spotreba zemného plynu o 43,4 % najmä dôsledkom elektrifikácie vykurovania po roku 2030. V scenári WAM sa vplyvom dekarbonizačných politík trend znižovania spotreby zemného plynu urýchli, pričom už do roku 2030 jeho spotreba klesne o 18 %. Od roku 2035 sa zavádza zmiešavanie zemného plynu s bezemisnými alternatívami. Do roku 2050 klesne spotreba potrubnej plynovej zmesi o 94 % oproti roku 2019.

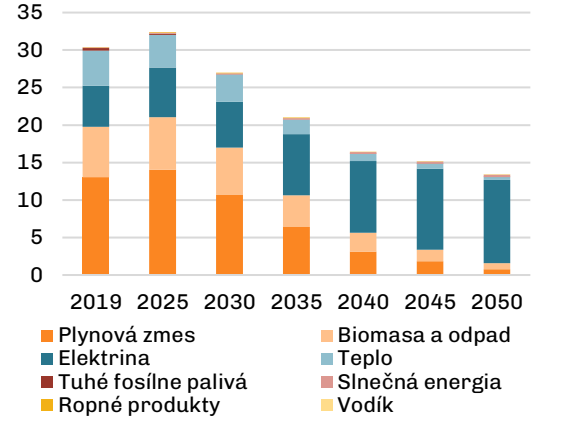
V dôsledku nižšieho dopytu po teple bude klesať aj spotreba biomasy. Do roku 2050 sa očakáva pokles o približne 44,1 % (WEM) resp. o 87,9 % (WAM) oproti roku 2019. Spaľovanie biomasy je menej efektívne ako tepelné čerpadlá, pričom pri jej spaľovaní vznikajú aj emisie znečisťujúcich látok. V súvislosti s nárastom vykurovania pomocou tepelných čerpadiel bude možné spotrebu biomasy presunúť do sektoru priemyslu, kde sú znečisťujúce látky menej závažným problémom, nakoľko sú filtrované a vypúšťané vo väčšej výške.

Graf 102: Konečná energetická spotreba domácností podľa palív (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 103: Konečná energetická spotreba domácností podľa palív (WAM, v TWh)

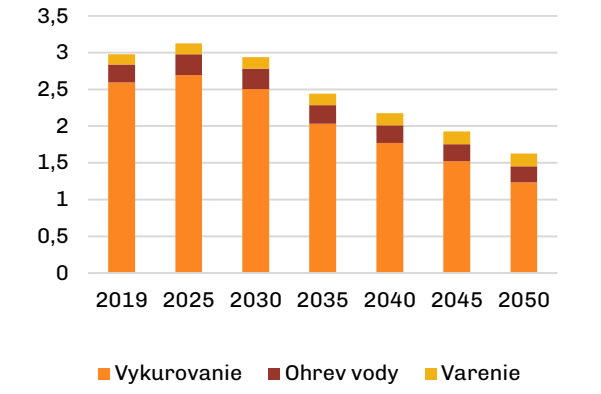


Zdroj: IEP podľa CPS

5.4.2.2 Emisie skleníkových plynov

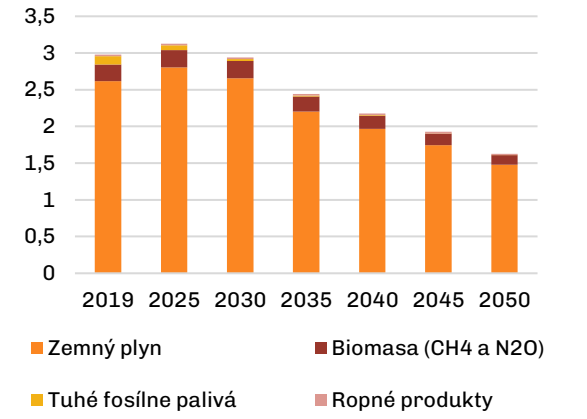
Zmeny v palivovom mixe výrazne znížia emisie, ktoré do roku 2050 v scenári WAM klesnú takmer na nulu. V scenári WEM sa podarí emisie znížiť približne o polovicu. Okolo roku 2030 sa v oboch scenároch takmer úplne ukončí využívanie tuhých fosílnych palív. Emisie, ktoré pochádzajú zo spotreby zemného plynu, sa podarí zredukovať prostredníctvom zateplenia budov a výmeny vykurovacích zariadení. Zvyšná časť spotreby zemného plynu bude v scenári WAM nahradená takmer bezemisnou potrubnou plynovou zmesou. V oboch scenároch klesá spotreba biomasy a s tým spojené emisie skleníkových plynov metánu a oxidu dusného - v scenári WEM o 44,2 % a v scenári WAM o 87,9 %.

Graf 104: Emisie domácností podľa konečnej spotreby (WEM, v Mt CO_2 ekv.)



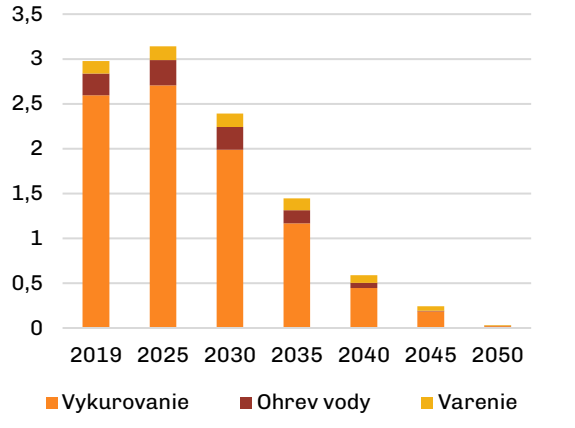
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 105: Emisie domácností podľa palív (WEM, v Mt CO_2 ekv.)



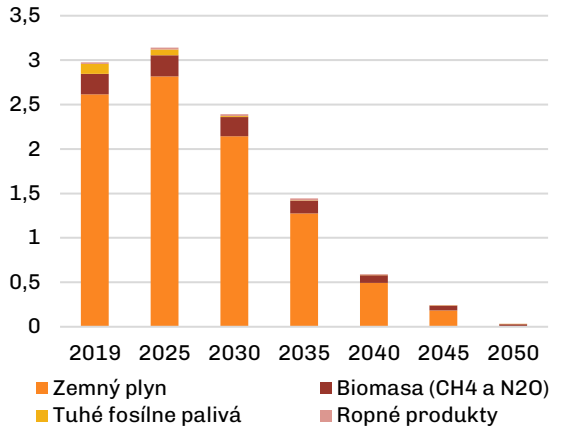
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 106: Emisie domácností podľa konečnej spotreby (WAM, v Mt CO_2 ekv)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 107: Emisie domácností podľa palív (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



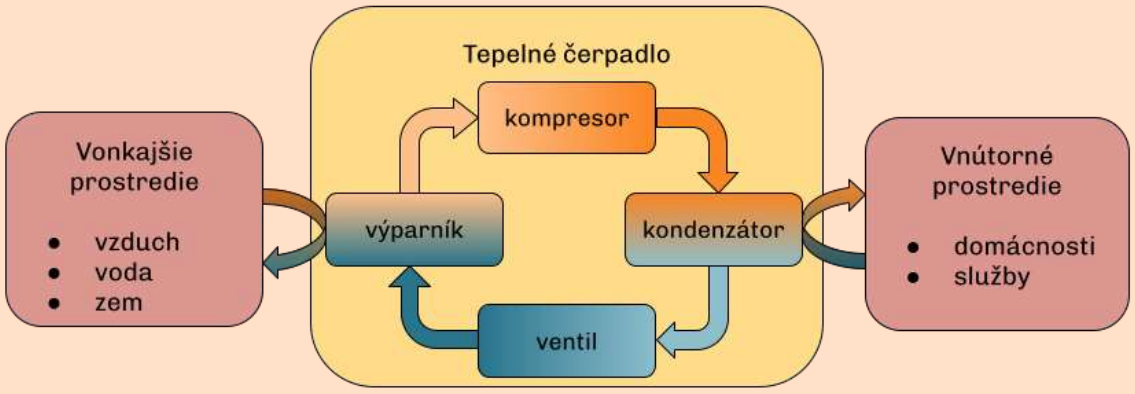
Zdroj: IEP podľa CPS

Box 19: **Podiel využitia tepelných čerpadiel v domácnostiach a službách**

Tepelné čerpadlá presúvajú a koncentrujú tepelnú energiu z vonkajšieho do vnútorného prostredia. Na tento proces využívajú výrazne menšie množstvo elektrickej energie než pri priamom ohreve prostredia. Tento proces pozostáva zo štyroch fáz:

1. odparovanie: chladivo získa energiu z vonkajšieho prostredia, v dôsledku čoho sa odparí do kompresora,
2. kompresia: stlačením pary sa pri kompresii chladivo ďalej zahrieva,
3. kondenzácia: chladivo v kondenzátore odovzdá teplo vnútornému prostrediu, v dôsledku čoho skvapalnie,
4. expanzia: znížením tlaku vo ventile sa teplota zníži, čím chladivo získava schopnosť naberať teplo z vonkajšieho prostredia.

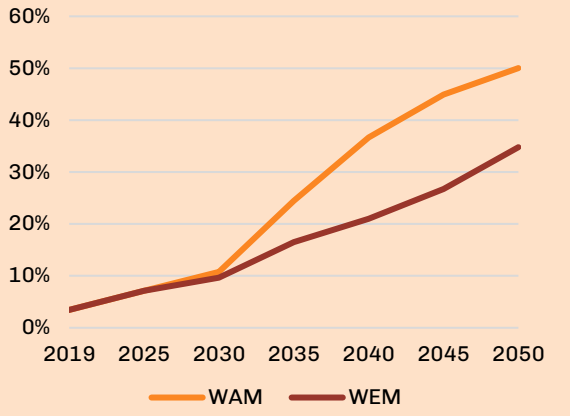
Schéma 7: Funkcionalita tepelných čerpadiel



Vďaka využitiu tepla z vonkajšieho prostredia je spotreba elektrickej energie potrebnej na vykurovanie len približne tretinová. Bariérou pre rozširovanie tepelných čerpadiel sú z pohľadu dopytu najmä vyššie investičné výdavky, ktoré tiež môžu byť spojené s potrebou stavebných či inštalatérskych úprav. Na strane ponuky je výzvou najmä dostatok inštalačných kapacít, ktorý spôsobuje dlhšiu čakacie doby alebo navyšuje náklady na inštaláciu. Ohľadom obmedzení inštalácií v distribučných sieťach zatiaľ nedochádza k dostatočne vysokému zastúpeniu tepelných čerpadiel, aby sme pozorovali výrazný efekt. Do budúcnosti pomáhajú tiež investície do energetickej efektívnosti budov, ktoré znižujú potrebu vykurovania. No pri dostatočnom navýšení počtu už bude nutné uvažovať s podpornými opatreniami ako napríklad DSR, batériové systémy, či posilnenie distribučnej sústavy.

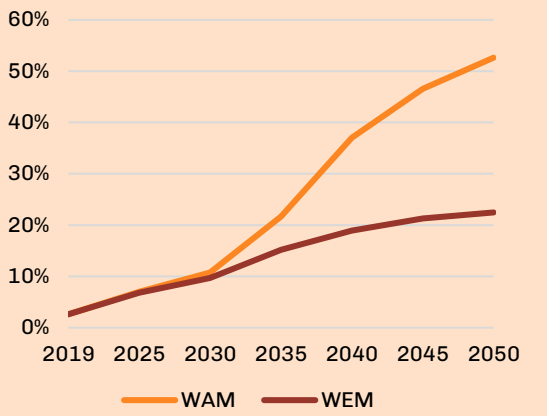
Tepelné čerpadlá budú postupne nahrádzať staršie vykurovacie zariadenia a tým výrazne znižovať spotrebu energií. V scenári WAM rastie množstvo tepelných čerpadiel výraznejšie ako v scenári WEM, čo je spôsobené dodatočným tlakom na ceny palív v dôsledku výraznejšieho rastu ceny kvóty ETS a zavedenia ETS2.

Graf 108: Podiel tepla využitého v domácnostiach z tepelných čerpadiel (v %)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 109: Podiel tepla využitého v službách z tepelných čerpadiel (v %)



Zdroj: IEP podľa CPS

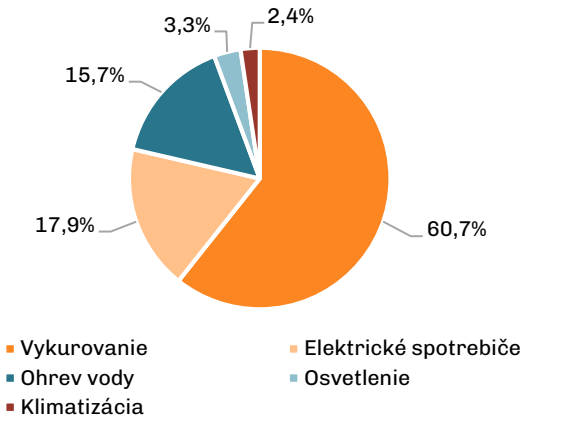
5.5 Služby

Sektor služieb má výrazný podiel na tvorbe HDP, ktorý sa do budúcna bude zvyšovať. V tomto sektore sa energia spotrebúva najmä na vykurovanie, v elektrických spotrebičoch a na ohrev vody. Približne polovica zo spotreby prislúcha zemnému plynu. Výrazne viac ako v domácnostiach sa využíva elektrická energia a aj tuhé fosílne palivá. Naopak, podiel tepla z centrálneho zásobovania je výrazne nižší. Na rýchlosť dekarbonizácie bude mať vplyv najmä výmena zariadení na vykurovanie a ohrev vody, ale aj zvyšovanie energetickej efektívnosti budov.

5.5.1 Súčasný stav

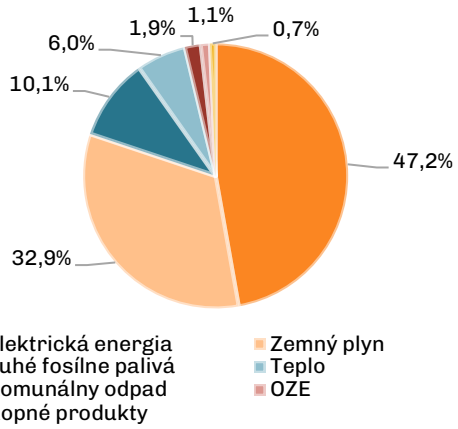
V roku 2019 bola konečná energetická spotreba palív v službách na úrovni 14,1 TWh. Najväčšiu časť spotreby predstavovalo vykurovanie budov (8,6 TWh). Podstatnú časť tvorili aj elektrické spotrebiče (2,5 TWh) a ohrev teplej vody (2,2 TWh). Z pohľadu palív boli najviac využívané elektrická energia (6,7 TWh) a zemný plyn (4,6 TWh). Podiel tepla z CZT na energetickej spotrebe dosiahol okolo 6 %, čo je menej ako v sektore domácností (18,1 %). Spomedzi obnoviteľných zdrojov sa využívali bioplyn, biomasa, geotermálna, ale aj slnečná energia. Dodatočný priestor na elektrifikáciu je najmä vo vykurovaní a ohreve vody, kde elektrická energia predstavovala približne 38,9 % spotreby palív.

Graf 110: Spotreba palív v službách v roku 2019 podľa využitia



Zdroj: IEP podľa Eurostat

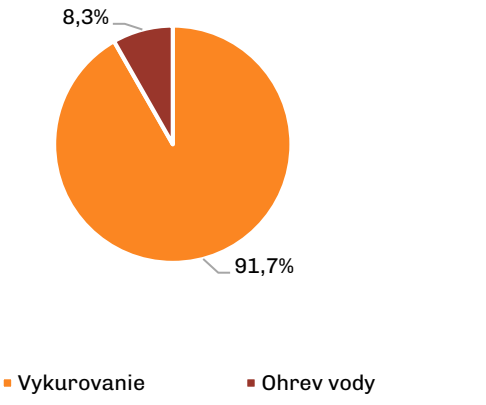
Graf 111: Spotreba palív v službách v roku 2019 podľa energonosiča



Zdroj: IEP podľa Eurostat

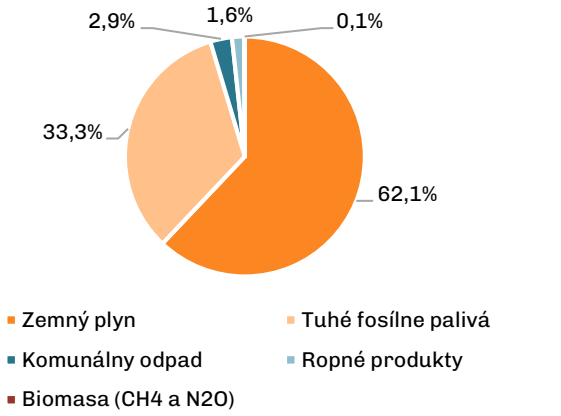
V roku 2019 bolo v sektore služieb vypustených 1,5 Mt CO_2 ekv.[54], čo zodpovedá 3,8 % zo všetkých emisií skleníkových plynov. Emisie v tomto sektore pochádzajú z vykurovania a ohrevu vody. Najviac emisií pri týchto činnostiach pochádzalo zo zemného plynu (932 kt CO_2 ekv.), tuhých fosílnych palív (500 kt CO_2 ekv.). Výrazne menší podiel majú ropné produkty (25 kt CO_2 ekv.) a energetické využitie komunálneho odpadu (44 kt CO_2 ekv.). Emisie z výroby elektrickej energie a tepla z centrálneho zásobovania sa v tomto sektore nezapočítavajú. Emisie metánu zo spaľovania biomasy tvoria, v porovnaní s domácnosťami, len zanedbateľnú časť emisií skleníkových plynov.

Graf 112: Emisie skleníkových plynov v sektore služieb podľa využitia v roku 2019



Zdroj: IEP podľa Eurostatu

Graf 113: Emisie skleníkových plynov v sektore služieb podľa palív v roku 2019



Zdroj: IEP podľa Eurostatu

5.5.2 Výsledky modelovania

Hospodárska činnosť sektora služieb je kľúčovým faktorom pri spotrebe energií a produkcii emisií. Sektor služieb sa bude v budúcnosti výraznejšie podieľať na tvorbe pridanej hodnoty v hospodárstve. Rast sektorovej aktivity sa prejaví aj vo väčšej podlahovej ploche budov využívanej na komerčné účely. Tým vzrastie aj potreba vykurovania, osvetlenia či využívania iných elektrických spotrebičov.

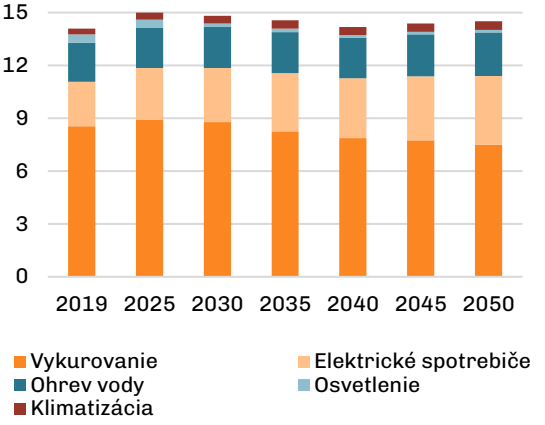
[54] Podľa údajov o palivách Eurostat

5.5.2.1 Spotreba palív

V scenári WEM do roku 2050 mierne narastie spotreba energií o 3 %. Vo vykurovaní sa do roku 2030 z dôvodu nižšej základnej úrovne roka 2019 očakáva mierny nárast spotreby o 2,7 %. Do roku 2050 poklesne spotreba energie vo vykurovaní o 12,4 % najmä vďaka vyššej dostupnosti úsporných technológií. Výrazne sa navýši najmä spotreba elektrickej energie v spotrebičoch (o 54,5 % do roku 2050) a chladení (o 47,3 %).

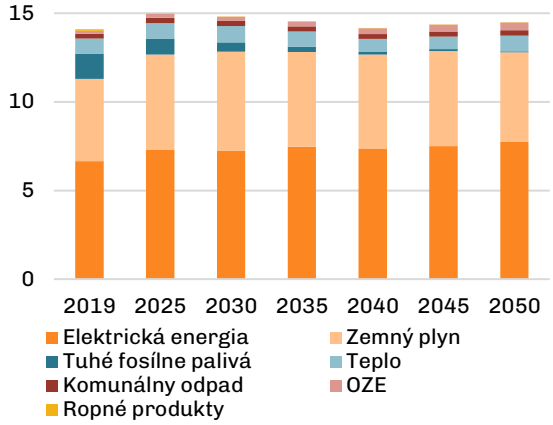
Spotreba elektrickej energie a zemného plynu vo WEM sa bude navyšovať, naopak takmer na nulu klesne spotreba tuhých fosílnych palív. Do roku 2030 sa bude navyšovať podiel zemného plynu vo vykurovaní, jeho spotreba narastie približne o pätinu. V dôsledku zlepšovania energetickej efektívnosti sa však jeho spotreba bude neskôr znižovať. V roku 2050 bude spotreba zemného plynu o 8,9 % vyššia ako v roku 2019. Spotreba elektrickej energie bude okrem spotrebičov rásť aj vo vykurovaní a ohreve vody. Spotreba tuhých fosílnych palív klesne o 62,3 % do roku 2030, pričom v roku 2050 budú tieto palivá využívané už len minimálne. Dopyt po teple z centrálneho zásobovania bude dlhodobo stabilný. Spotreba obnoviteľných zdrojov narastie o približne 270 GWh, čo zodpovedá iba malej časti spotreby.

Graf 114: Konečná energetická spotreba sektora služieb podľa využitia (WEM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 115: Konečná energetická spotreba sektora služieb podľa palív (WEM, v TWh)



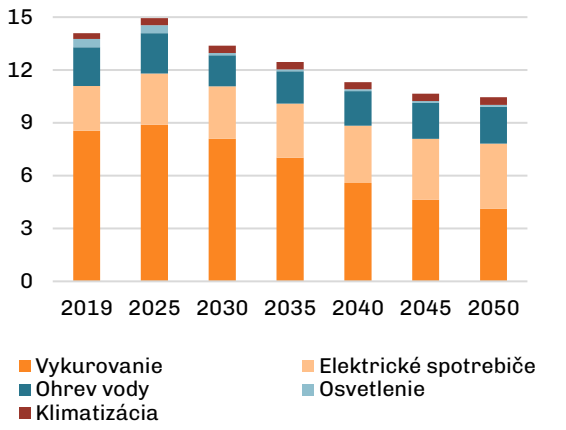
Zdroj: IEP podľa CPS

V scenári WAM sa konečná energetická spotreba do roku 2050 zníži približne o štvrtinu. Zvýšením podielu zateplených budov a prechodom na efektívnejšie vykurovacie zariadenia sa podarí znížiť spotrebu energií vo vykurovaní približne o polovicu. Výmena žiaroviek za LED žiarovky povedie k úspore približne troch štvrtín spotreby energie na osvetlenie. V dôsledku rastúcej sektorovej aktivity a v dôsledku predpokladaného mierneho rastu vonkajšej teploty narastie spotreba elektrickej energie do roku 2050 oproti roku 2019 v elektrických spotrebičoch o 45,7 % a chladení o 29,6 %.

Do roku 2035 sa v scenári WAM úplne ukončí využívanie tuhých fosílnych palív. V úvodných rokoch spotreba zemného plynu vzrastie, neskôr však bude klesať. V dôsledku prechodu na tepelné čerpadlá a kondenzačné plynové kotly klesne spotreba plynovej zmesi, tvorenej zmiešavaním zemného plynu s bezemisnými alternatívami, v sektore služieb až o 78,4 % do roku 2050. Mierne bude rásť spotreba biomasy, čo je spôsobené najmä jej zvýšenou dostupnosťou v dôsledku nižšieho dopytu v domácnostiach. Taktiež mierne stúpne spotreba tepla z centrálneho zásobovania.

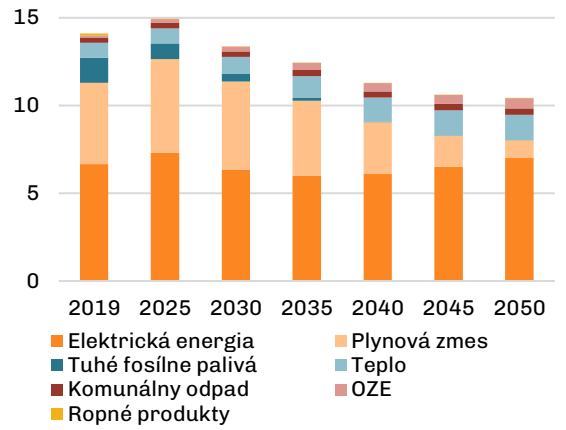
Spotreba elektrickej energie v sektore služieb v scenári WAM bude do roku 2050 kolísať v dôsledku niekoľkých protichodných trendov. K rastu spotreby elektrickej energie prispeje výmena plynových kotlov za elektrické tepelné čerpadlá a tiež rastúce využívanie elektrických spotrebičov. Naopak, jej pokles podporí nahradenie elektrických kotlov a žiaroviek úspornejšími tepelnými čerpadlami a LED žiarovkami, ako aj zvýšená miera zateplenia budov. Tieto protichodné trendy sa vzájomne vykompenzujú so zachovaním približne rovnakého dopytu po elektrickej energii v sektore služieb.

Graf 116: Konečná energetická spotreba sektora služieb podľa využitia (WAM, v TWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 117: Konečná energetická spotreba sektora služieb podľa palív (WAM, v TWh)

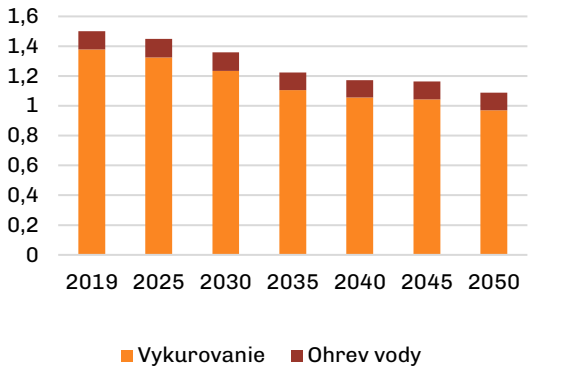


Zdroj: IEP podľa CPS

5.5.2.2 Emisie skleníkových plynov

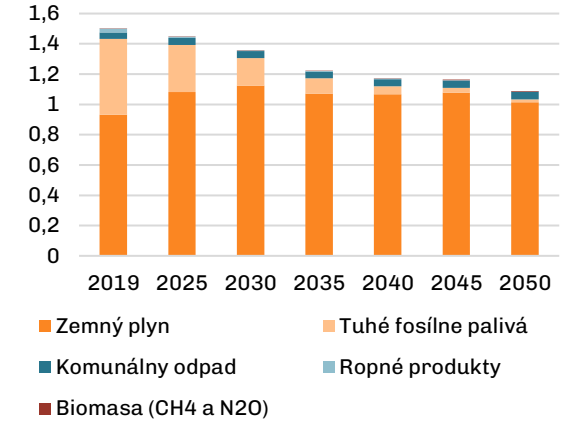
V scenári WEM klesnú emisie skleníkových plynov približne o 28,3 % do roku 2050 v dôsledku zníženej spotreby tuhých fosílnych palív. Pokles sa prejaví takmer výhradne vo vykurovaní, nakoľko pri ohreve vody sa tuhé fosílne palivá využívajú výrazne menej. Takmer všetky emisie (93,1 %) budú vytvorené spaľovaním zemného plynu, ktorého spotreba mierne narastie. Emisie zo spaľovania komunálneho odpadu a biomasy zostanú na približne rovnakej úrovni.

Graf 118: Emisie sektora služieb podľa konečnej spotreby (WEM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 119: Emisie sektora služieb podľa palív (WEM, v Mt CO_2 ekv.)

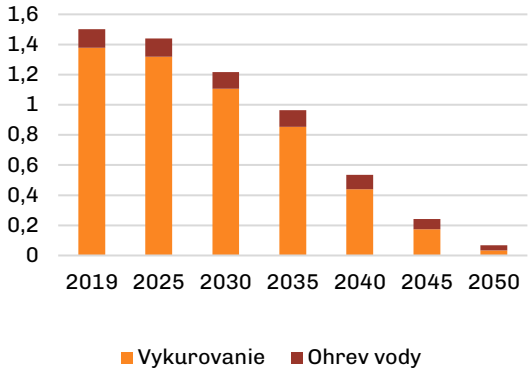


Zdroj: IEP podľa CPS

V scenári WAM sa očakáva pokles emisií o 95,5 % do roku 2050. Do roku 2030 bude mať najvýznamnejší vplyv ukončenie používania tuhých fosílnych palív. Po roku 2030 bude mať výrazný efekt zníženie spotreby plynu prostredníctvom elektrifikácie vykurovania, ale aj postupné primiešavanie bezemisných zložiek do plynovej zmesi, čím sa emisie

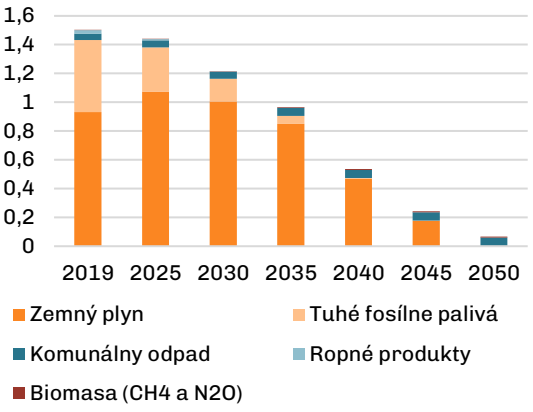
z potrubnej plynovej zmesi dostanú na takmer nulovú úroveň. V scenári WAM v roku 2050 bude najviac emisií pochádzať z komunálneho odpadu a v menšej miere aj z biomasy.

Graf 120: Emisie sektora služieb podľa konečnej spotreby (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 121: Emisie sektora služieb podľa palív (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

5.6 Poľnohospodárstvo

V poľnohospodárstve vznikajú emisie najmä z neenergetických činností z rastlinnej a živočíšnej výroby a v menšej miere z využitia palív. Neenergetické emisie pochádzajú najmä z produkcie metánu v dôsledku enterickej fermentácie, z hnojného manažmentu a využívania hnojív v rastlinnej výrobe. V poľnohospodárstve sa palivá využívajú najmä v prevádzke poľnohospodárskych strojov či vo vykurovaní budov a skleníkov.

5.6.1 Emisie z neenergetických zdrojov v poľnohospodárstve

V poľnohospodárstve je znižovanie emisií náročnejšie ako v sektoroch konečnej energetickej spotreby, ak mienime zachovať jeho hlavnú funkciu produkcie potravín. Ide o sektor s veľkým počtom malých zdrojov emisií, čo komplikuje implementáciu opatrení. Opatrenia s vyšším potenciálom pre znižovanie emisií sú v súčasnosti využívané len v malých vzorkách, preto k ich plošnej aplikácii dochádza až po roku 2030. Aj v prípade, že sa podarí tieto opatrenia aplikovať, veľkej časti emisií nebude možné zabrániť.

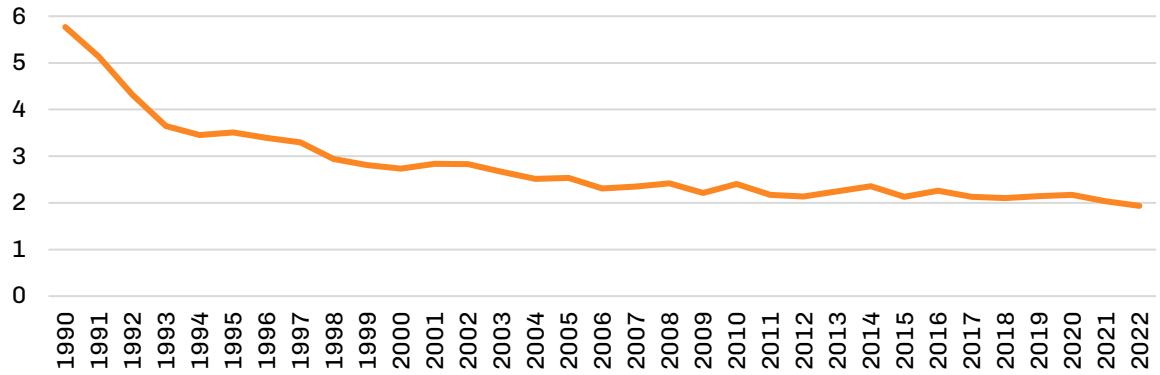
5.6.1.1 Súčasný stav

V roku 2019 bolo v sektore poľnohospodárstva vyprodukovaných 2 140 kt CO_2 ekv.[55], t.j. približne 5,4 % emisií skleníkových plynov SR. Oxid dusný vzniká pri hnojení a v hnojnom manažmente a tvorí približne 32 % emisií. Emisie metánu z enterickej fermentácie hospodárskych zvierat tvoria 50 % emisií. Zvyšok tvoria emisie z hnojného manažmentu (14,9 %) a emisie oxidu uhličitého z aplikácii močoviny a vápnenia (3,1 %).

Posledných 15 rokov mali emisie v poľnohospodárstve stabilnú úroveň. K výraznému poklesu došlo ešte v 90-tych rokoch ako dôsledok výrazného zníženia stavu dobytka a využívania hnojív. V poľnohospodárstve aj na medzinárodnej úrovni prebieha znižovanie emisií pomalšie. Je to spôsobené najmä nutnosťou zabezpečenia vysokej miery potravinovej sebestačnosti. Keďže ide o fragmentovaný sektor s nízkymi maržami, implementácia mitigačných opatrení je náročnejšia.

[55] Na základe údajov SHMÚ uvedených v emisnej inventúre z roka 2024. Medzi rokmi 2023 a 2024 prišlo k úprave metodiky, ktorá viedla k poklesu emisií oxidu dusného. Modelovanie v tomto sektore prebiehalo na základe inventúry z roka 2023, a následne sa výsledky previedly na novú metodiku. Množstvo emisií skleníkových pynov z poľnohospodárstva v inventúre z roka 2023 zodpovedá 2 529 kt CO_2 ekv.

Graf 122: Emisie z poľnohospodárstva v rokoch 1990 až 2022 (v Mt CO_2 ekv.)

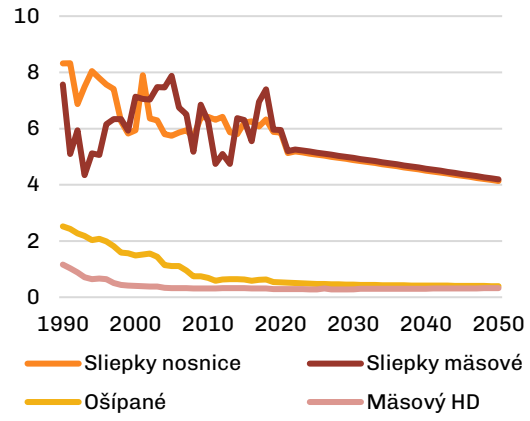


Zdroj: SHMÚ[56]

5.6.1.2 Výsledky modelovania

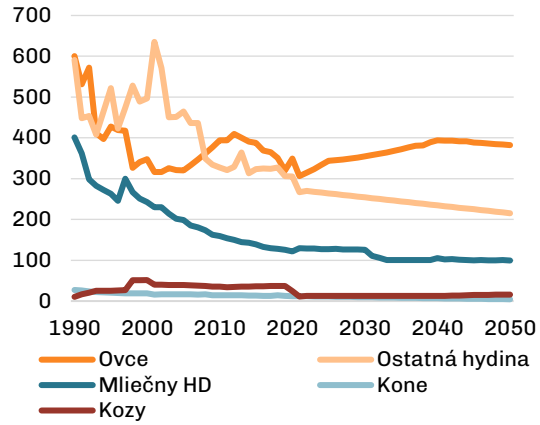
V oboch scenároch je množstvo hospodárskej produkcie rovnaké. V živočíšnej výrobe je klesajúci trend počtu zvierat zapríčinení najmä zvýšenou efektivitou. V rastlinnej výrobe je predpokladaný pokles obhospodárovanej pôdy umožní prechod na plodiny s vyššou pridanou hodnotou, najmä strukoviny. Očakáva sa aj postupné zastabilizovanie rastúceho trendu olejovín.

Graf 123: Počet najpočetnejších hospodárskych zvierat (WEM aj WAM)



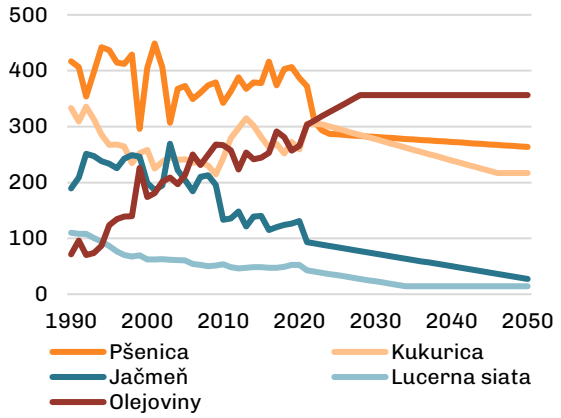
Zdroj: IEP podľa SHMÚ

Graf 124: Počet ostatných hospodárskych zvierat (WEM aj WAM)



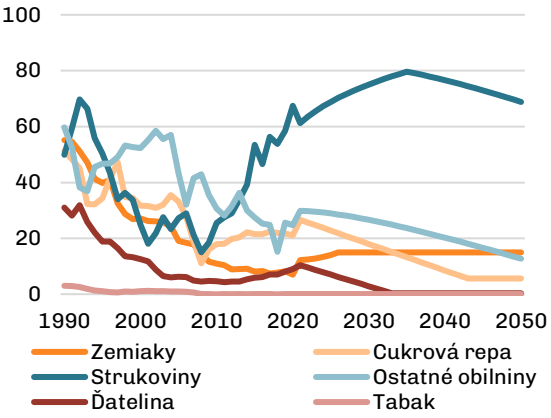
Zdroj: IEP podľa SHMÚ

Graf 125: Obhospodárovaná plocha jednotlivými plodinami (v ha, WEM aj WAM)



Zdroj: IEP podľa SHMÚ

Graf 126: Obhospodárovaná plocha jednotlivými plodinami (v ha, WEM aj WAM)



Zdroj: IEP podľa SHMÚ

[56] Údaje z emisnej inventúry z roka 2024.

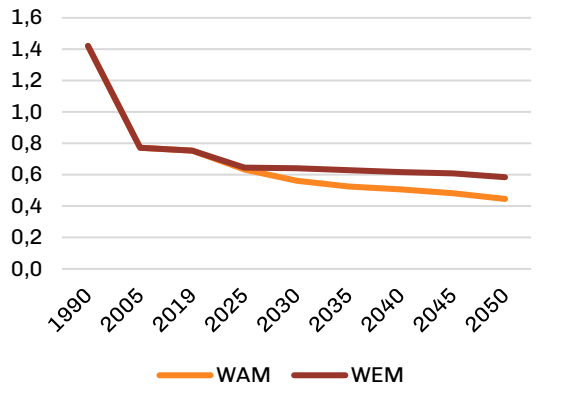
V scenári WEM klesnú emisie do roku 2030 o približne 9,5 %. Emisie zo živočíšnej výroby sa znížia o 6,7 %, čo bude spôsobené najmä zvýšením kvality krmiva a zlepšením jeho manažmentu v chove mäsového dobytka a oviec. V rastlinnej výrobe dôjde k poklesu o 14,8 % najmä vďaka očakávaných zmien podielov jednotlivých druhov rastlín a zvýšeniu využívania hnoja namiesto močoviny.

Do roku 2050 sa znížia emisie v scenári WEM približne o 14 %. Vyšší podiel na tomto znížení bude mať rastlinná výroba (22,5 %), kde postupne príde k znižovaniu objemov výroby. Menším dielom prispeje živočíšna výroba (9,4 %), kde sa najmä po roku 2035 bez dodatočných opatrení očakáva stagnácia až mierny rast. Je to spôsobené najmä menším aplikačným potenciálom opatrení, ktoré sú v scenári k dispozícii alebo ich vysokou cenou.

V scenári WAM klesnú do roku 2030 emisie skleníkových plynov v poľnohospodárstve o 15,7 %. Najmä v oblasti živočíšnej výroby je v scenári WAM do roku 2030 aplikovaných viacero opatrení - okrem opatrení zo scenára WEM sa postupne rozšíri využívanie aditív v chove mliečneho dobytka sa aplikujú opatrenia navyšujúce produktivitu oviec. V rastlinnej výrobe sa začnú využívať nitrifikačné inhibítory a precízne poľnohospodárske techniky[57] vedúce k zníženiu spotreby hnojív. Na základe aplikácie týchto opatrení sa znížia emisie v živočíšnej výrobe o 10,5 % a v rastlinnej výrobe o 25,3 %.

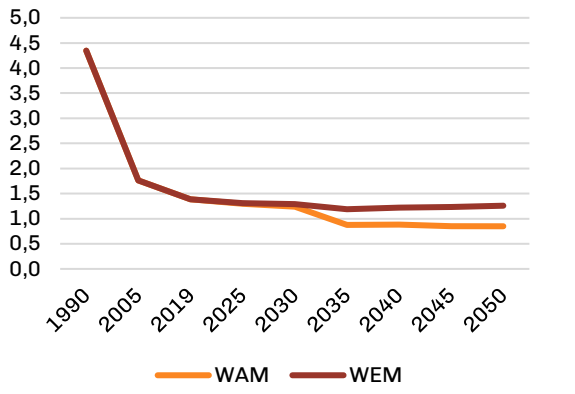
Celkové emisie z poľnohospodárstva sa v scenári WAM podarí do roku 2050 znížiť o 39,5 %. Emisie zo živočíšnej výroby klesnú o 38,8 % emisie z rastlinnej výrobe o 40,8 %. V scenári WAM dôjde k výraznejšiemu poklesu emisií okolo roku 2035, kedy sa očakáva zvýšenie dostupnosti a rozšírenie viacerých nových technológií. Medzi najdôležitejšie opatrenia z pohľadu úspory emisií patria najmä aplikácia 3-NOP ako aditíva či neutralizácia metánu pomocou zariadenia typu ZELP. Po roku 2030 sa budú aplikovať aj opatrenia v oblasti hnojného manažmentu (ako napr. anaeróbna digescia či denné čistenie hnoja u ošípaných). Močovina, ktorá doposiaľ nebola nahradená vedľajšími produktmi živočíšnej výroby, sa od roku 2030 začne postupne nahrádzať dusíkatými hnojivami so stabilizovaným obsahom dusíka. Po roku 2035 pribudnú ďalšie dodatočné opatrenia už len v živočíšnej výrobe, ich efekt však bude iba mierny.

Graf 127: Emisie z rastlinnej výroby do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa Poľnohospodárskeho modelu

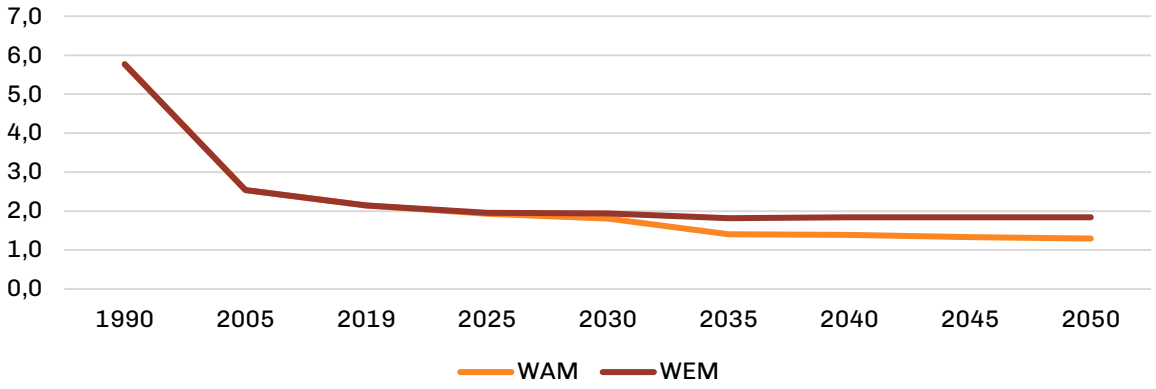
Graf 128: Emisie zo živočíšnej výroby do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa Poľnohospodárskeho modelu

[57] Precízne poľnohospodárske techniky sú moderné postupy využívajúce GPS, senzory a dáta na presné dávkovanie vody, hnojív a pesticídov s cieľom zvýšiť úrodu a šetriť zdroje.

Graf 129: Emisie z poľnohospodárstva do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv.)



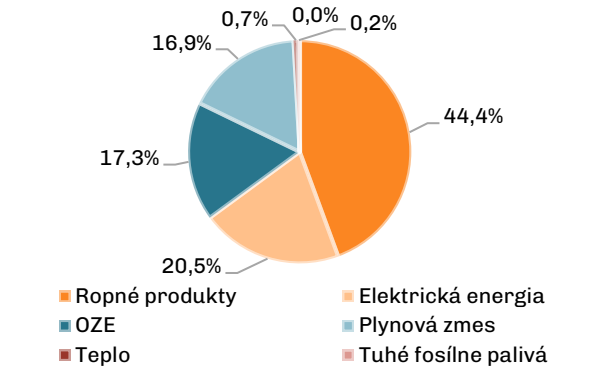
Zdroj: IEP podľa Poľnohospodárskeho modelu

5.6.2 Využívanie palív v poľnohospodárstve

5.6.2.1 Súčasný stav

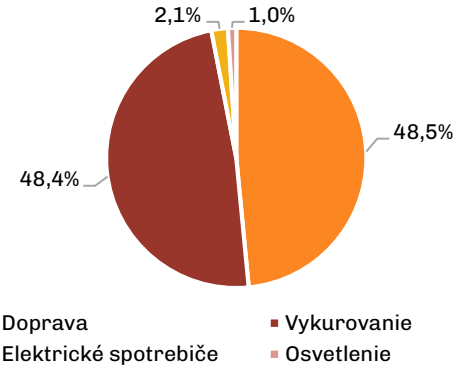
V roku 2019 bolo v poľnohospodárstve spotrebovaných približne 1,5 TWh energie. Tá sa využíva najmä na prevádzku poľnohospodárskych strojov a vykurovanie poľnohospodárskych budov a skleníkov. Najväčší podiel na spotrebe mali ropné produkty (668 GWh), pričom najvyššia bola spotreba nafty využívanej najmä na prevádzku poľnohospodárskych strojov a v menšej miere aj vo vykurovaní budov.

Graf 130: Spotreba palív v poľnohospodárstve v roku 2019 (v %)



Zdroj: IEP podľa CPS

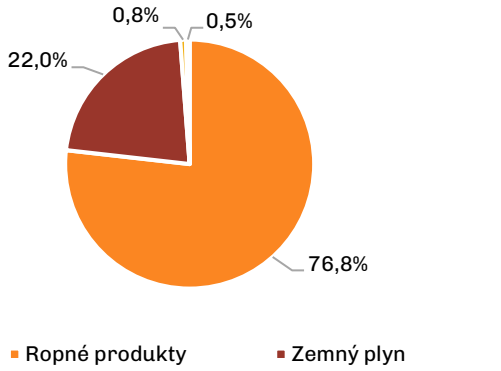
Graf 131: Spotreba palív podľa využitia v poľnohospodárstve v roku 2019 (v %)



Zdroj: IEP podľa CPS

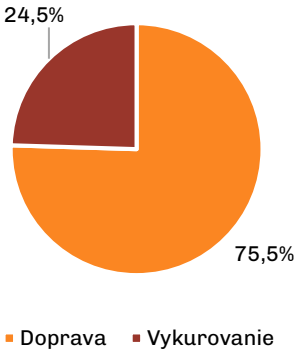
V roku 2019 bolo zo spaľovania palív v poľnohospodárstve vyprodukovaných 232 kt CO_2 ekv. Najväčší podiel na emisiách malo spaľovanie ropných produktov (178 kt CO_2 ekv.), najmä nafty a zemného plynu (51 kt CO_2 ekv.). V menšej miere to boli aj emisie zo spaľovania hnedého uhlia a tiež emisie metánu zo spaľovania biomasy.

Graf 132: Emisie v poľnohospodárstve podľa paliva v roku 2019 (v %)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 133: Emisie z vykurovania a dopravy v poľnohospodárstve v roku 2019 (v %)

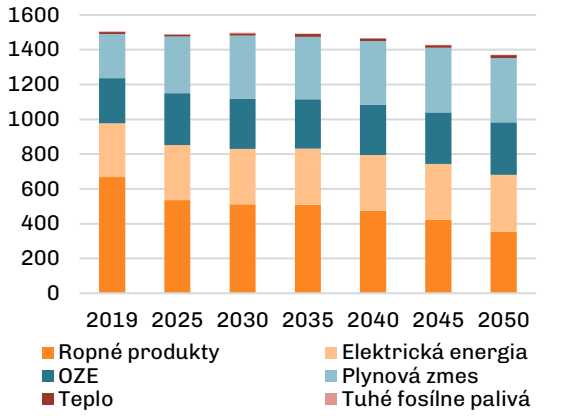


Zdroj: IEP podľa CPS

5.6.2.2 Výsledky modelovania

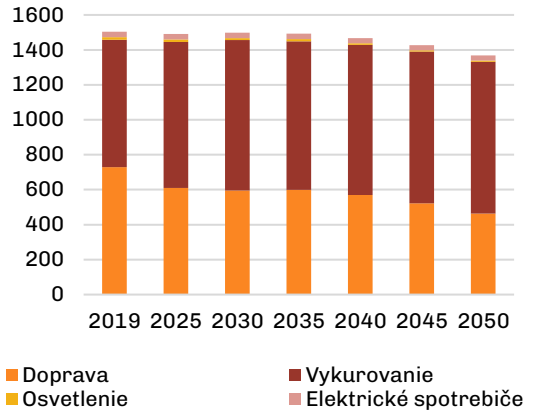
V scenári WEM sa úroveň spotreby energie drží na približne rovnakej úrovni do roku 2040 a následne do roku 2050 klesne o 9 %. Spotreba ropných produktov do roku 2030 klesne o 23,3 % a do roku 2050 o 47 %. Postupné nahrádzanie ropných produktov zemným plynom spôsobí pokles emisií skleníkových plynov o 8,4 % do roku 2030 a o 26,3 % do roku 2050.

Graf 134: Spotreba palív v poľnohospodárstve (WEM, v GWh)



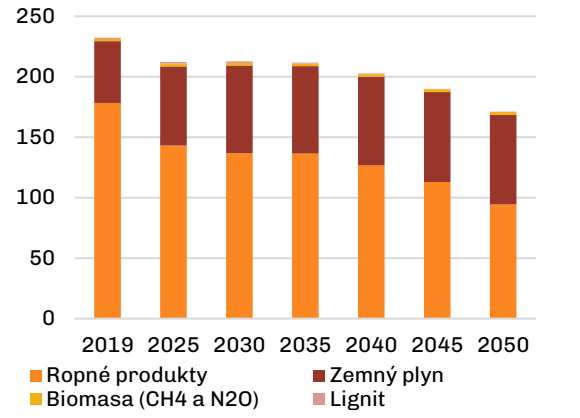
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 135: Spotreba palív podľa využitia v poľnohospodárstve (WEM, GWh)



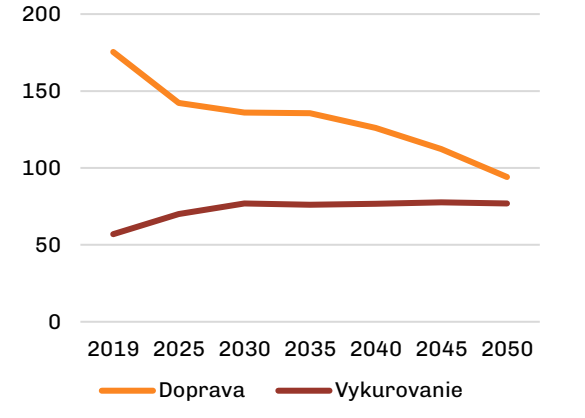
Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 136: Emisie z vykurovania a dopravy v poľnohospodárstve (WEM, v kt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

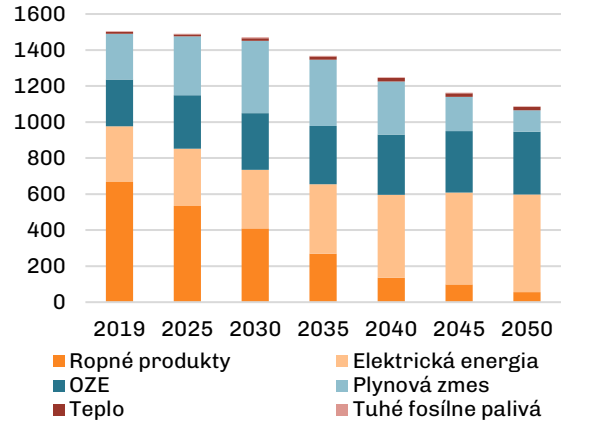
Graf 137: Emisie z vykurovania a dopravy v poľnohospodárstve (WEM, v kt CO_2ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

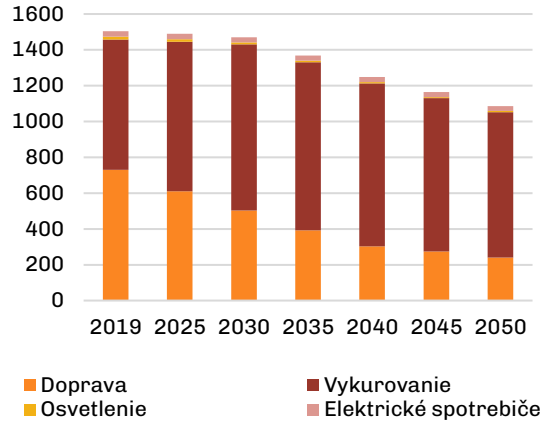
V scenári WAM klesne celková spotreba energie v poľnohospodárstve o 27,9 % do roku 2050. Spotreba ropných produktov klesne do roku 2050 o 91,7 % pričom narastie spotreba obnoviteľných zdrojov (o 34,3 %) a elektrickej energie (o 75,3 %). Spotreba zemného plynu narastie do roku 2030 o 57,8 %. Následne po roku 2030 klesne spotreba potrubnej plynovej zmesi o 70,2 % oproti roku 2030. V dôsledku odklonu od ropných produktov klesnú emisie skleníkových plynov do roku 2030 o 16,4 % a následne do roku 2050 o 92 % oproti roku 2019 aj v dôsledku prechodu na potrubnú plynovú zmes.

Graf 138: Spotreba palív v poľnohospodárstve (WAM, v MWh)



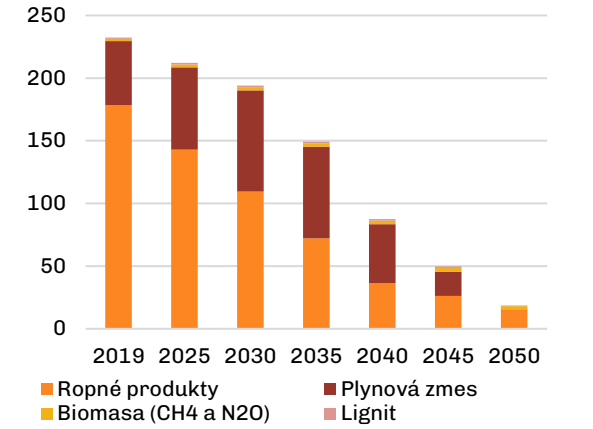
Zdroj: IEP podľa CPS podľa CPS

Graf 139: Spotreba energie podľa využitia v poľnohospodárstve (WAM, MWh)



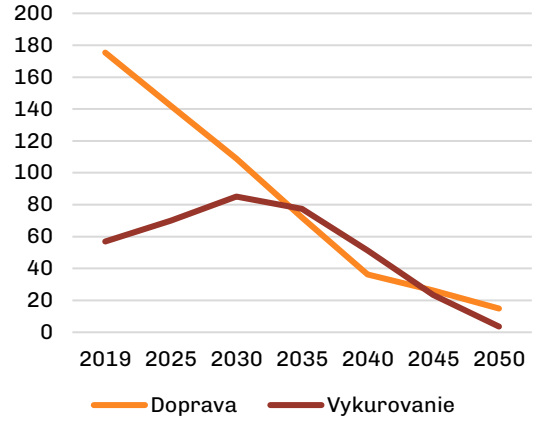
Zdroj: IEP podľa CPS podľa CPS

Graf 140: Emisie z vykurovania a dopravy v poľnohospodárstve (WAM, v kt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 141: Emisie z vykurovania a dopravy v poľnohospodárstve (WAM, v kt CO_2 ekv.)



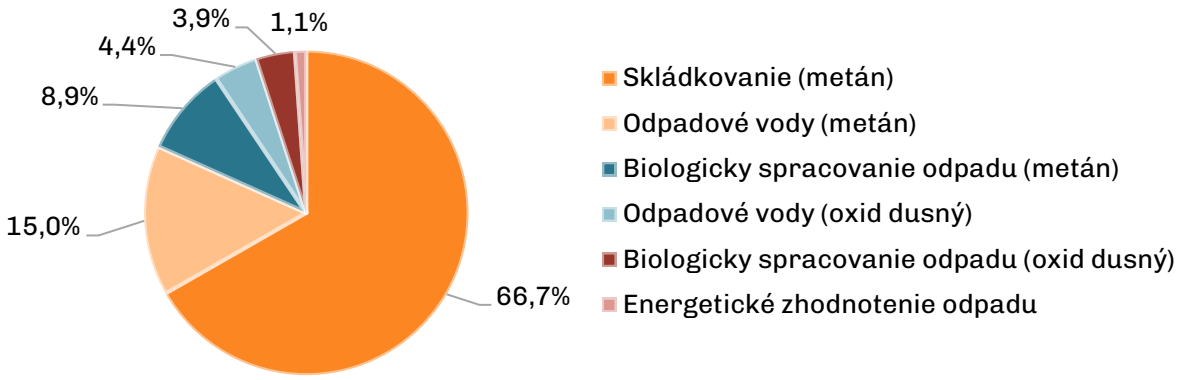
Zdroj: IEP podľa CPS

5.7 Odpady

V sektore odpadov emisie pochádzajú najmä z metánu pri skládkovaní a čistení odpadových vôd. V roku 2019 Slovensko vyprodukovalo 1 930 kt CO_2 ekv. pri narábaní s odpadom.[58] Množstvo odpadu v minulosti rástlo so zvyšovaním životnej úrovne. Najväčší objem emisií pochádza zo skládok komunálneho odpadu, kde sa z odpadu uvoľnuje metán. Pri spracovaní odpadových vôd a odpadu, napr. pri kompostovaní, sa využívajú biologické procesy pri ktorých sa uvoľnuje oxid dusný a metán. Druhým najčastejším spracovaním odpadu na Slovensku je energetické zhodnotenie. Na rozdiel od iných spôsobov, kde organický odpad uvoľňuje metán, sa pri energetickom zhodnocovaní jeho potenciál využíva priamo spaľovaním, čo výrazne znižuje emisie skleníkových plynov.

[58] Na základe údajov z emisnej inventúry z roku 2024.

Graf 142: Podiel emisií z činností nakladania s odpadom (2019 v % CO_2 ekv.)



Zdroj: SHMÚ

V rámci scenára WEM sa predpokladá výrazné zníženie emisií skleníkových plynov najmä v dôsledku zavedenia povinnosti úpravy odpadu pred skládkovaním od januára 2025. Cieľom zavedenia mechanicko-biologickej úpravy je najmä zníženie skládkovania biologickej zložky odpadu, ktorá je zodpovedná za produkciu skládkového plynu. Ten sa skladá približne z 50 % metánu a 50 % oxidu uhličitého (EPA, 2010).

Dodatočné zníženie emisií vyplýva zo zlepšovania triedenia kuchynského bioodpadu a v menšej miere zo zavedenia triedeného zberu textilu. Triedený zber kuchynského bioodpadu je zavedený na celom Slovensku od polovice roku 2021[59], pričom postupne sa predpokladá zvyšovanie triedenia kuchynského bioodpadu na úroveň 13 kg na obyvateľa. Zvýšenie triedenia tohto odpadu povedie k zníženiu jeho skládkovania, a teda zníženiu produkcie metánu. Triedený zber textilného odpadu sa zavádza od januára 2025, pričom sa predpokladá postupné vytriedenie 20 tisíc ton textilného odpadu ročne a súvisiace zníženie skládkovania.

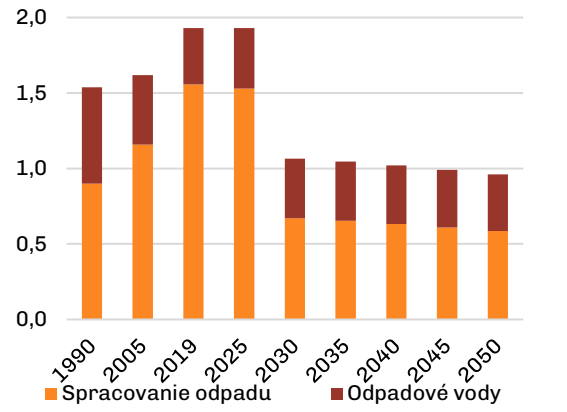
K dodatočnému zníženiu produkcie emisií skleníkových plynov v scenári WAM dochádza vďaka zavedeniu celoplošného množstvového zberu komunálneho odpadu na Slovensku, čím vzrastie miera triedenia aj recyklácie. Množstvový zber je forma výberu poplatkov za odpad, ktorá uplatňuje princíp „plať za to, čo vyhodíš“ a motivuje k vyššej miere triedenia (Eunomia, 2003). Podľa odhadov zo slovenských údajov znižuje množstvový zber produkciu zmesového odpadu na obyvateľa v priemere o 22 % (IEP, 2019).

V scenári WAM sa znížia emisie zo skládok aj odpadových vôd. Uvoľňujúci sa skládkový plyn je možné zachytávať s priemernou účinnosťou až 64 %[60], čo považujeme za potenciál pre zachytávanie skládkového plynu na Slovensku. Vďaka zvyšovaniu miery pripojenia obyvateľov na verejnú kanalizáciu klesnú aj emisie z odpadových vôd, keďže vzrastie miera ich čistenia.

[59] Výnimku majú iba obce, ktoré preukážu, že 100 % ich obyvateľov kompostuje. Do roku 2023 mali výnimku aj obce, ktoré majú zabezpečené energetické využitie odpadu alebo časti obcí, v ktorých technické problémy neumožňujú vykonávania zberu v historických centrách miest a v riedko osídlených oblastiach.

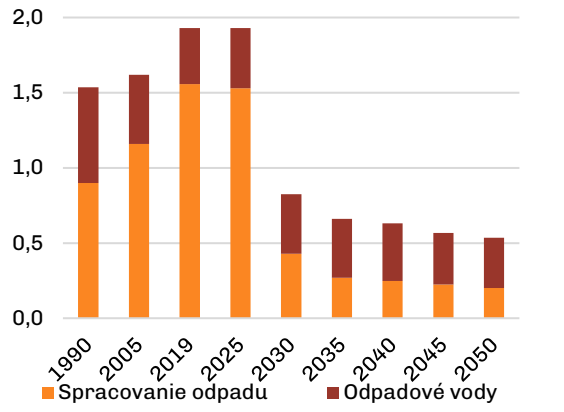
[60] Na základe údajov spoločnosti MAEN, ktorá prevádzkuje systém zachytávania plynu na 8 skládkach na Slovensku.

Graf 143: Emisie skleníkových plynov z odpadov (WEM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 144: Emisie skleníkových plynov z odpadov (WAM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

Cementárne využívajú odpady ako priemyselné palivo. V rámci cementární sa odpad spaľuje v podobe tuhého alternatívneho paliva ako náhrada fosílnych palív. Energetické využitie odpadov v cementárňach dosahuje 350 tis. ton, pričom podľa informácií od výrobcov je možné túto kapacitu zvýšiť na 500 tis. ton. Okrem toho fungujú na Slovensku dve zariadenia na energetické využitie komunálnych odpadov v Bratislave a Košiciach s celkovou kapacitou 254 tisíc ton.

5.8 LULUCF

LULUCF je jediným sektorom na Slovensku, ktorý zachytáva viac emisií, ako vypustí. Z pohľadu klimatickej neutrality môže pokryť ťažko odstrániteľné emisie pochádzajúce z ostatných sektorov. Oxid uhličitý sa v podobe uhlíka ukladá hlavne v lesných porastoch a pôde. V budúcnosti sa očakáva výrazne zníženie prirodzených záchytov, keďže veľká časť lesov je vo veku vhodnom na obnovu. Navýšenie množstva záchytov je možné najmä prostredníctvom zmien v lesnom hospodárstve, v pôdnych typoch, t.j. napr. zalesňovaním, alebo v spôsoboch využívania pôdy. Dosiahnutie cieľa záchytov pre rok 2030 je veľmi náročné.

5.8.1 Súčasný stav

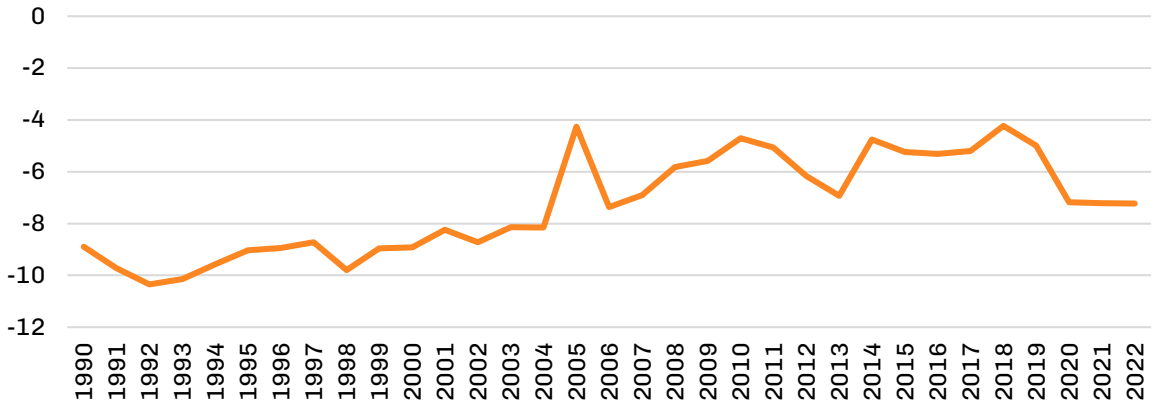
V roku 2019 bolo v sektore LULUCF zachytených 5 515 kt CO_2 ekv.[61], čo zodpovedalo približne 12,6 % všetkých emisií skleníkových plynov SR. Najväčší podiel patril lesom a lesnej pôde (68,7 %). Emisie boli tiež zachytené v ornej pôde (20,7 %), výrobkoch z dreva (11,7 %) a pasienkoch (2,1 %)[62]. Naopak, sektory obydlí a inej pôdy vypustili viac emisií, ako zachytili.

Sektor LULUCF je špecifický tým, že sa v ňom započítava len množstvo zachytených emisií v danom roku a neberú sa do úvahy prírastky alebo zachytený uhlík z predchádzajúcich rokov. Množstvo záchytov sa aj bez aplikácie opatrení v čase mení v závislosti od stavu porastov a pôdy.

Prirodzené záchyty sú historicky najviac ovplyvňované mierou obnovy lesa. Záchyty v lesoch tvoria rozdiel medzi množstvom uhlíka zachyteného v ročnom prírastku drevnej biomasy a jeho množstvom vyťaženým v rámci obnovy lesa. Keďže prírastok biomasy závisí od vekovej a druhovej štruktúry lesa, efekty zásahov a opatrenia v tejto oblasti nastupujú zvyčajne pomaly. Množstvo záchytov závisí aj od využitia pôdy, pričom najviac uhlíka na hektár sa zachytáva v lesnej pôde, menej na pasienkoch a najnižšiu mieru záchytov na hektár majú orné pôdy.

[61] Na základe údajov SHMÚ uvedených v emisnej inventúre z roka 2023.
[62] Uvedené údaje presahujú 100 % úmyselne, nakoľko v zvyšných sektoroch vznikajú emisie, ktoré celkovú úroveň dopĺňajú do 100 %

Graf 145: Emisie z LULUCF v rokoch 1990 až 2022 (v Mt CO_2 ekv.)

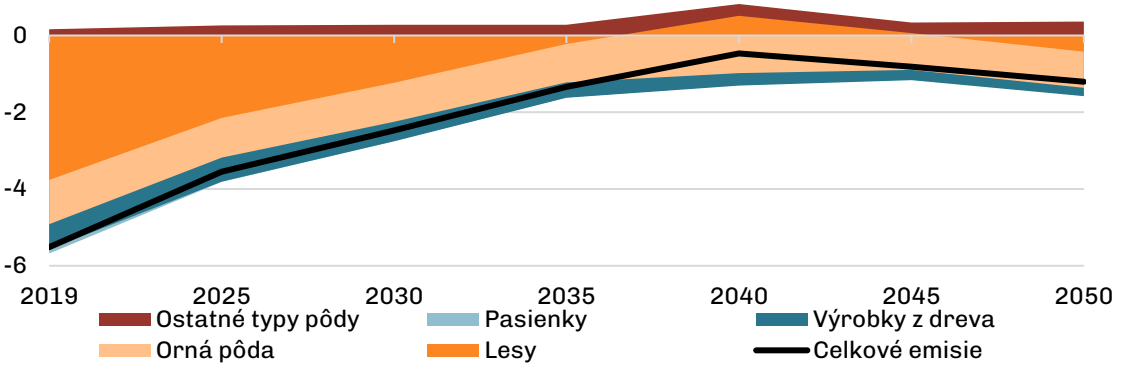


Zdroj: (SHMÚ, 2024)

5.8.2 Výsledky modelovania

V referenčnom scenári WEM výrazne klesnú záchyty v lesných porastoch do roku 2040, následne sa trend mierne zvráti. Scenár WEM je vyprodukovaný v spolupráci SHMÚ s NLC a považujeme ho za referenčný. Jeho základným predpokladom je zachovanie historických trendov a postupov v obnove lesa a konverziách pôdy. Do roku 2040 dôjde k poklesu záchytov, ktorý bude spôsobený najmä nedostatočnou schopnosťou zachytávania uhlíka v lesných porastoch a vysokou mierou obnovy lesov, ktoré sú vo vhodnej rubnej dobe. Po roku 2040 sa záchyty mierne navýšia. V ostatných kategóriách bude trend podobný, výrazne sa znížia aj záchyty vo výrobkoch z dreva, mierne klesnú aj záchyty v ornej pôde. Emisie budú rásť aj v dôsledku konverzie pôd na zastavané územia.

Graf 146: Emisie z LULUCF do roku 2050 v scenári WEM (v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: SHMÚ, NLC

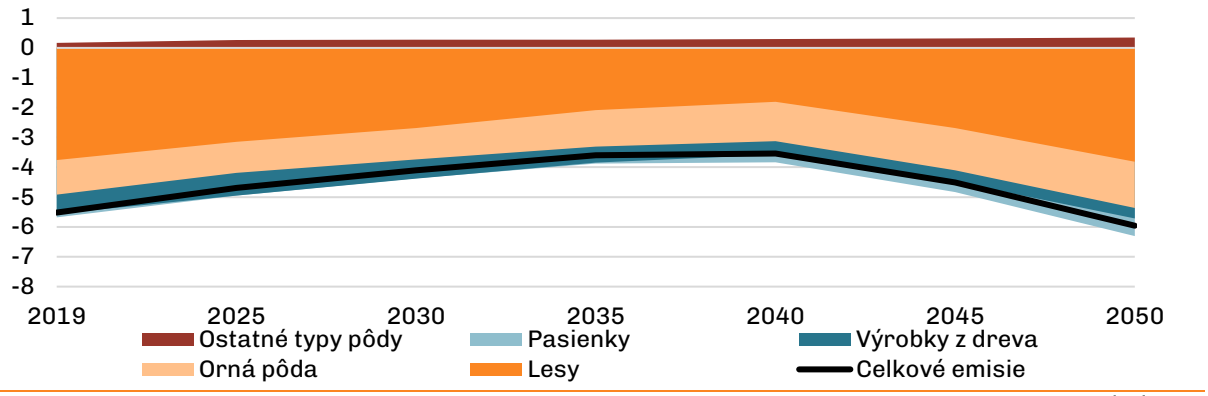
Scenár WAM dosiahne v porovnaní so scenárom WEM do roku 2030 navýšenie záchytov o približne 1 600 kt CO_2. Pre splnenie cieľa to však nebude postačujúce. Navýšenie je spôsobené najmä rozdielom v miere obnovy lesa, ktorá je nižšia približne o 7 % v roku 2030. Mierny pozitívny efekt majú tiež rozšírenie prírode blízkeho hospodárenia v lesoch či vyšší podiel bezzásahových plôch v národných parkoch. Zavádzajú sa tiež opatrenia v oblasti orných pôd a výrobkov z dreva, ktoré však majú výrazne menší celkový efekt. Napriek aplikácii týchto opatrení sa SR nedokáže priblížiť cieľu navýšenia záchytov o 504 kt CO_2 v porovnaní s priemerom rokov 2016 až 2018, ktorý je určený pre rok 2030 v nariadení o LULUCF[63].

Po roku 2030 sa v scenári WAM začnú širšie aplikovať opatrenia týkajúce sa orných pôd a pasienkov. Opatrenia, akými sú napríklad zmeny v pasení dobytka či hĺbke orby, si budú vyžadovať dodatočné náklady na pracovnú silu alebo zníženie výnosnosti na hektár

[63] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2023/839

pôdy. Z tohto dôvodu majú opatrenia v týchto sektoroch zvyčajne vyššiu cenu. Zároveň prinášajú pomerne veľký potenciál na zvyšovanie záchytov aj mimo lesných porastov. V kategórii lesy a lesná pôda bude pokračovať podobná miera obnovy ako do roku 2030, avšak postupne sa budú výraznejšie uplatňovať ostatné opatrenia vychádzajúce najmä z Národného lesníckeho programu ako napr. hlúčiková výsadba lesov.

Graf 147: Emisie z LULUCF do roku 2050 v scenári WAM (v Mt CO_2 ekv.)

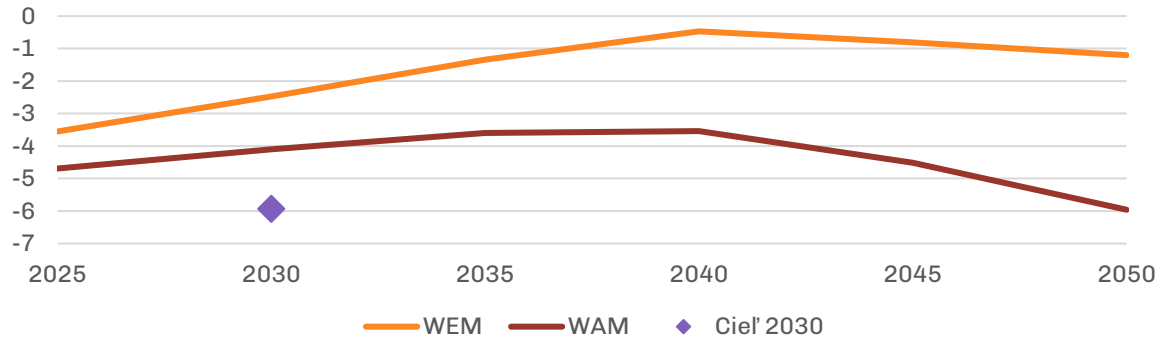


Zdroj: IEP

Do roku 2050 sa v scenári WAM podarí vrátiť mieru záchytov približne na úroveň roka 2019 vďaka dekarbonizačným opatreniam. V porovnaní so scenárom WEM sa podarí ročne zachytiť približne o 4 750 kt CO_2 ekv. viac.

Výrazné zvýšenie množstva záchytov je z krátko- a strednodobého hľadiska náročné dosiahnuť bez zníženia miery obnovy lesa. Iné opatrenia v lesnom hospodárstve majú postupný efekt, ktorý sa výraznejšie prejavuje až v dlhodobom časovom intervale. Okrem úprav v lesnom hospodárstve sú hlavnými zdrojmi potenciálnych navýšení záchytov najmä konverzie pôdnych druhov, t.j. zmeny druhu využitia pôdy, ktoré však narážajú na obmedzenia v poľnohospodárskej výrobe. Pre dosiahnutie zmien spôsobu narábania s pôdou (ako napr. menej hlboká orba či zakladanie agrolesníckych systémov) je potrebné vzdelávanie poľnohospodárov v tejto oblasti a prípadná finančná alebo nefinančná motivácia či úprava výberu pestovaných plodín.

Graf 148: Emisie z LULUCF do roku 2050 (v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP, SHMÚ, NLC

5.9 Umelé záchyty

Umelé zachytávanie CO_2 predstavuje jednu z pokročilých a nákladnejších alternatív znižovania emisií. Ide o procesy oddelenia CO_2 zo zmesi plynov. Zachytené CO_2 je následne možné využiť vo výrobe syntetických palív (tzv. CCUS – z angl. *Carbon Capture, Utilization and Storage*) alebo po stlačení a preprave uskladniť (tzv. CCS – z angl. *Carbon Capture and Storage*) do permanentného úložiska (viac v Box 20).

Umelé zachytávanie uhlíka je síce v skoršej fáze technologického cyklu, ale neskôr môže významne pomôcť na ceste ku klimatickej neutralite. V súčasnosti je vo svete v prevádzke približne 45 komerčných zariadení s celkovou ročnou kapacitou okolo 50 Mt CO_2 (IEA, 2025). Na Slovensku v súčasnosti nie je v prevádzke žiadne zariadenie tohto typu, záujem o jeho prevádzku však prejavil chemický priemysel (Enviroportál, 2025). Európska komisia predpokladá v roku 2040 zachytenie približne 75 Mt CO_2 a v roku 2050 až 115 Mt CO_2[64] (EK, 2024).

Využitie umelých záchytov sa očakáva len v ambicióznejšom scenári WAM najmä v priemyselných odvetviach, kde je koncentrácia CO_2 najvyššia. Čím vyšší je obsah CO_2 v plynovej zmesi, tým je prevádzka cenovo dostupnejšia (IEA, 2021). Preto sa očakáva využitie týchto systémov najmä vo výrobe ocele, hliníka, hnojív či cementu. Keďže emisie v týchto sektoroch pochádzajú z chemických procesov, nie je možné ich znížiť napr. elektrifikáciou, a teda sú najnáročnejšie na odstránenie (viac v Box 18 v kapitole 5.2).

Tabuľka 18: Náklady na záchyt v priemyselných odvetviach (v EUR (2023) na tonu)

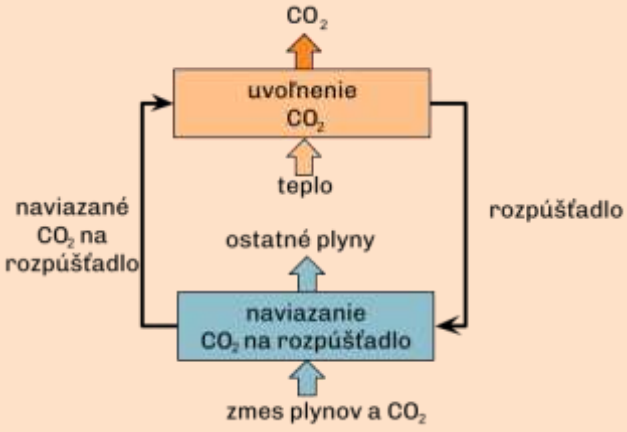
Zdroj CO_2	EUR23 / tonu
Oceliarsky	46,8 – 117
Výroba hliníka a zliatin	46,8 – 117
Stavebný	70,2 – 140,5
Chemický a petrochemický	29,3 – 41
Výroba elektriny	58,5 – 117

Zdroj: (IEA, 2021)

Box 20: Technologické postupy pri zachytávaní a ukladaní CO_2

Najvyužívanejším spôsobom zachytávania CO_2 je jeho naviazanie z koncentrovaného prúdu plynu pomocou rozpúšťadla. Rozpúšťadlo a CO_2 sa chemicky naviažu, čím vzniká molekula, ktorá sa ľahko odčlení od ostatných plynov. Následne sa CO_2 a rozpúšťadlo oddelia pomocou tepla alebo elektrochemickej reakcie[65]. Alternatívou je priame zachytávanie CO_2 zo vzduchu, čo je však nákladnejšie. Po separácii od ostatných plynov je možné CO_2 prepraviť a uskladniť.

Schéma 8: Separácia CO_2 od zmesi plynov



Preprava CO_2 si vyžaduje technológiu a infraštruktúru na úrovni existujúcej infraštruktúry pre prepravu iných plynov. Základnými možnosťami využiteľnými na území SR sú najmä potrubná, železničná a cestná nákladná doprava. Na prepravu CO_2 je možné prispôsobiť infraštruktúru na prepravu zemného plynu, avšak nie je možné tieto kapacity využívať

[64] V scenári S3 doložky vplyvov k návrhu zníženia emisií skleníkových plynov o 90 % do roku 2040

[65] Rozpúšťadlá fungujú na báze amínu, aminokyselín, iónové kvapaliny, pevné sorbenty, amoniaku, hydroxidu draselného a hydroxidu sodného. Líšia sa adsorpčnou kapacitou, či teplotným rozsahom, v ktorom uvoľňujú CO_2, ale aj skupenstvom (International Journal of Greenhouse Gas Control, 2021) (ASC Omega, 2022).

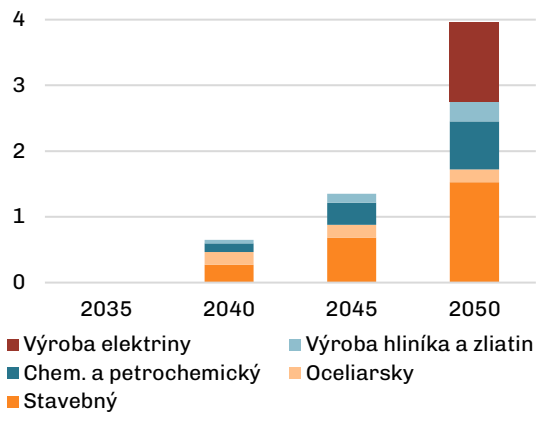
súčasne. Náklady na prepravu železnicou sú nižšie ako pri cestnej doprave, pričom pri vyšších kapacitách je najefektívnejšia potrubná preprava ***Zadaný zdroj je neplatný.***

Najvhodnejšie geologické štruktúry na uskladnenie CO_2 sú hlboké soľno-vodonosné vrstvy, čadičové formácie a vyťažené ložiská ropy alebo zemného plynu. V súčasnosti neexistuje komplexný prehľad o týchto lokalitách na území SR. Soľné vodonosné vrstvy sú geologické štruktúry soli, ktoré sú nasýtené vodou (soľankou). Nepriepustná vrstva, napríklad ílu, nad vodonosnou vrstvou zabraňuje uvoľneniu uloženého CO_2 späť do ovzdušia. Podobne sa môže CO_2 uskladniť vo vyťažených ropných, plynových alebo aj uhoľných ložiskách. Čadičové formácie sú geologické štruktúry sopečného pôvodu, v ktorých uložené CO_2 v chemicky reaguje s oxidmi vápenca a horčíka za vzniku uhličitanu vápenatého a uhličitanu horečnatého.

Uskladnenie CO_2 je tiež možné v biouhlíku a stavebných materiáloch. Biouhlík sa používa na zlepšenie vlastností poľnohospodárskej pôdy, ale aj ako náhrada uhlíka v chemických procesoch. Vyrába sa pyrolýzou z biomasy, pričom pri tomto procese vzniká aj syntetický plyn a bio-olej. Na jeho výrobu je tiež možné využiť odpadovú biomasu. Podobne ako pri ukladaní CO_2 do vápenatej horniny (v podobe uhličitanov), viažu oxidy vápenca v betóne CO_2 do uhličitanu vápenatého. Počas svojej životnosti takto betón dokáže absorbovať 15 až 30 % CO_2 uvoľneného pri výrobe. Na podobnom princípe je možné vstrekovať CO_2 do betónu už pri jeho výrobe. Týmto procesom sa však menia vlastnosti betónu, ktoré môžu byť pre niektoré účely nevyhovujúce **Zadaný zdroj je neplatný.**.

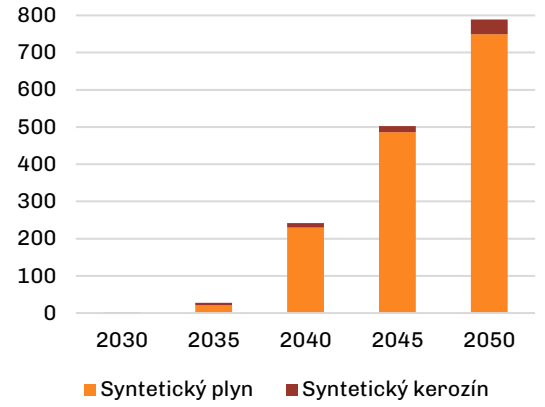
V scenári WAM sa očakáva v roku 2050 zachytenie približne 4 Mt CO_2. V priemysle sa zachytávanie uhlíka rozvinie medzi rokmi 2035 a 2040. Najvyššiu mieru záchytov budú mať stavebný a chemický a petrochemický priemysel, v ktorých vzniká veľké množstvo procesných emisií, ktoré sa nedajú odstrániť ani zmenou výrobnej technológie. Pre dosiahnutie klimatickej neutrality bude tiež od roku 2050 sprevádzkovaná elektráreň, v ktorej sa budú zachytávať emisie zo spaľovania biomasy. Väčšina zachytených emisií bude uskladnená, približne 800 kt CO_2 sa ďalej využije na výrobu syntetických palív. Časť syntetických palív sa bude najmä pred rokom 2040 dovážať. Syntetický plyn sa bude využívať najmä ako súčasť potrubnej plynovej zmesi, ktorá nahradí zemný plyn.

Graf 149: Umelé záchyty emisií v priemysle a energetike (WAM, v Mt CO_2)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 150: Výroba syntetických palív zo záchytov CO_2 (WAM, v kt CO_2)



Zdroj: IEP podľa CPS

Box 21: **Výroba a využitie syntetických palív**

Syntetické palivá dokážu čiastočne nahradiť zemný plyn a kvapalné palivá najmä tam, kde nie je elektrifikácia vhodnou alternatívou. Prostredníctvom chemických procesov je možné tieto palivá využívať ako alternatívu uvedených palív, pričom nevznikajú dodatočné emisie skleníkových plynov. Vzhľadom na relatívne vysoké náklady sa ich využitie očakáva najmä v tých odvetviach, kde nie je priestor pre elektrifikáciu.

Pri výrobe syntetických palív sa využívajú endotermické reakcie, do ktorých CO_2 vstupuje ako vstupná surovina. Do výroby vstupuje aj vodík. V modeli CPS predpokladáme, že bude na

tieto účely vyrábaný bezemisne elektrolýzou vody. Výroba syntetického metánu z CO_2 prebieha chemickou reakciou

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O.$$

Výroba syntetického kerozínu, ale aj ďalších pohonných hmôt, prebieha dvojicou chemických reakcií: prvou je výroba oxidu uhoľnatého (CO) z oxidu uhličitého za prítomnosti vodíka

$$CO_2 + H_2 \rightarrow CO + H_2O,$$

a druhou je výroba samotného paliva z vodíka a oxidu uhoľnatého (Fischerov-Tropschov proces)

$$(2n+1)H_2 + nCO \rightarrow C_nH_{2n+2} + nH_2O.$$

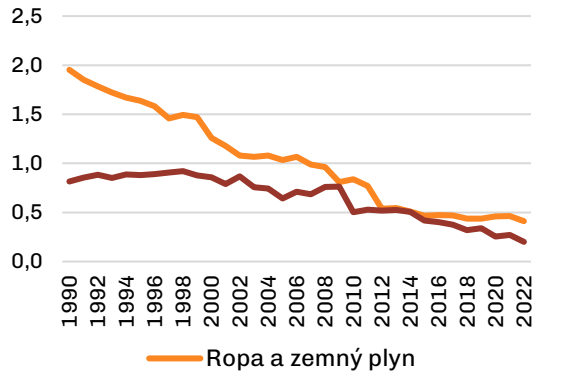
5.10 Emisie z ostatných kategórií

Emisie v ostatných kategóriách zodpovedali v roku 2019 necelým 2 % emisií SR, pričom ich podiel dlhodobo klesá. Medzi ostatné emisie, ktoré doteraz neboli spomínané, patria fugitívne emisie, ktoré vznikajú pri ťažbe, preprave a skladovaní fosílnych palív a tiež emisie z rôznych menších zdrojov, ktoré nespadajú pod žiadnu z predošlých kategórií.

5.10.1 Súčasný stav

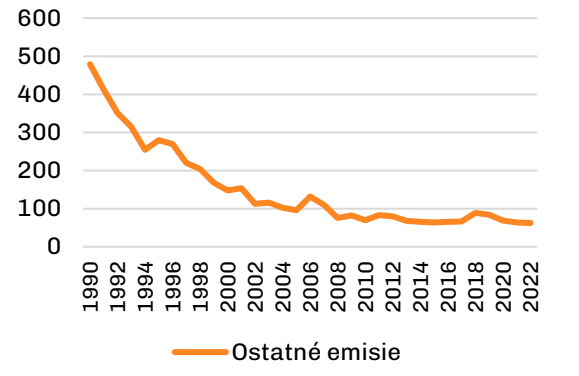
V roku 2019 bolo v tejto kategórii vypustených 859 kt CO_2 ekv., z čoho 774 kt CO_2 ekv. zodpovedalo fugitívnym emisiám[66]. Fugitívne emisie poklesli medzi rokmi 1990 a 2022 o približne 77,9 % najmä v dôsledku zníženia ťažby tuhých fosílnych palív a skvalitnenia tesnení a technológií na stlačenie zemného plynu.

Graf 151: Fugitívne emisie v rokoch 1990 až 2022 (v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: SHMÚ 2024

Graf 152: Ostatné emisie skleníkových plynov v rokoch 1990 až 2022 (v kt CO_2 ekv.)



Zdroj: SHMÚ 2024

5.10.2 Výsledky modelovania

V modeli CPS boli modelované fugitívne emisie, pričom boli rozdelené na emisie spojené s využitím tuhých fosílnych palív, resp. ropy a zemného plynu. Ostatné emisie, vzhľadom na rôznorodosť a malý rozsah (0,2 % emisií SR) tejto kategórie, neboli modelované a sú považované za konštantné[67].

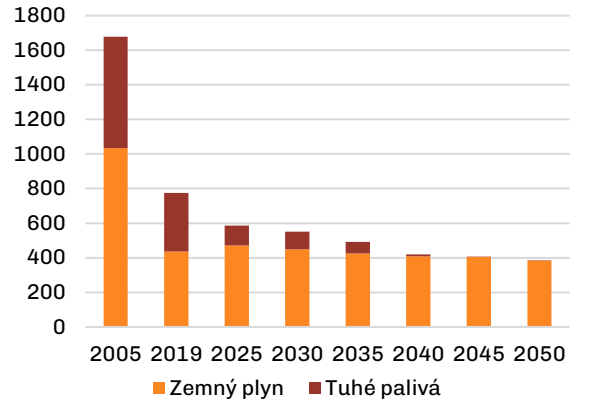
V scenári WEM príde do roku 2050 k zníženiu fugitívnych emisií o 50,1 %. Kým emisie v súvislosti s ťažbou a prepravou uhlia sa takmer úplne eliminujú, pokles v súvislosti so zemným plynom a ropou bude miernejší. Emisie z tuhých fosílnych palív klesnú takmer na nulu z dôvodu ukončenia ťažby a postupného ukončenia ich využívania. V oboch scenároch prichádza aj po ukončení ťažby v uhoľných baniach k unikaniu menšieho množstva metánu (približne 3 kt CO_2 ekv. v roku 2050). Naproti tomu, emisie zo zemného

[66] Údaje z emisnej inventúry pre rok 2024. Vo vstupe pre modelovanie boli použité údaje z emisnej inventúry z roka 2023, ktoré sa líšia od údajov z inventúry z roka 2024; 535 kt CO_2 ekv. fugitívnych emisií, a 84 kt CO_2 ekv. ostatných emisií.
[67] Časť týchto emisií zodpovedá spotrebe palív využitých v armáde, pričom na znižovanie emisií v tejto oblasti sa nezameriavame.

plynu a ropy klesnú len mierne (12 %), nakoľko v scenári WEM zotrvá vysoká miera využitia týchto palív.

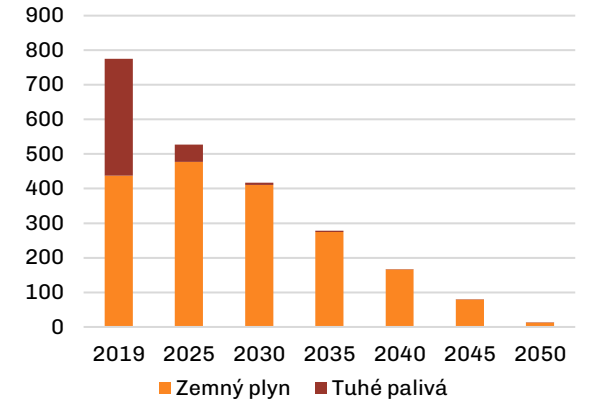
V scenári WAM zostane v roku 2050 len malé množstvo fugitívnych emisií. V porovnaní so scenárom WEM dôjde k výraznému zníženiu spotreby zemného plynu a ropy dôsledkom elektrifikácie a nahradenia zemného plynu potrubnou plynovou zmesou.

Graf 153: Fugitívne emisie skleníkových plynov (WEM, v kt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 154: Fugitívne emisie skleníkových plynov (WAM, v kt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

5.11 Makroekonomické výsledky

Makroekonomický model všeobecnej ekonomickej rovnováhy (CGE) GEM-E3-SK je využitý na vyčíslenie makroekonomických dopadov scenára WAM (z modelu CPS) pomocou porovnania so scenárom WEM. Model GEM-E3-SK je prepojený tzv. soft-linkom s modelom energetického systému CPS. Tento prístup umožňuje GEM-E3-SK reprezentovať dynamiku energetického systému zachytenú v podrobných výsledkoch z energetického modelu CPS, či už ide o zmeny v energetickom mixe, investície do výroby energií alebo výdavky domácností. Okrem makroekonomických efektov je dôležité pamätať aj na ďalšie efekty, ktoré dekarbonizačný scenár WAM prinesie v podobe zvýšenia energetickej bezpečnosti a zníženia závislosti Slovenska od dovozu fosílnych palív.

5.11.1 Štyri varianty využitia finančných zdrojov

Pre dosiahnutie výsledkov scenára WAM budú potrebné dodatočné investície (napr. do zvyšovania energetickej efektívnosti, rozvoja obnoviteľných zdrojov energie a pod.), ktoré sú popísané v kapitole 6. Finančné zdroje pre tieto investície môžu byť rôzne, dôsledkom čoho sú rôzne možnosti makroekonomického vývoja.

Naopak, niektoré kľúčové opatrenia, akými sú zavedenie ETS2, zrušenie bezodplatných emisných kvót po roku 2030 či zvýšenie ceny ETS v scenári WAM, vedú k dodatočným environmentálnym príjmom pre Slovensko[68] oproti scenáru WEM. Tieto príjmy je možné vrátiť späť do ekonomiky alebo použiť na konsolidáciu verejných financií.

Na základe rôznej voľby použitia dodatočných príjmov z environmentálnych poplatkov a zdroja financovania dodatočných investícií sú vytvorené štyri makroekonomické varianty scenára WAM. Všetky tieto štyri varianty zodpovedajú rovnakému vývoju energetického systému zo scenára WAM z modelu CPS:

[68] Výnosy z predaja emisných kvót sa používajú napr. aj na financovanie Inovačného schému ako nadnárodnej schémy alebo prvkov flexibility a solidarity, akým je napr. Modernizačný fond. Z tohto dôvodu neplatí, že by kompletný výnos z aukcie putoval na vrub danej krajine.

- **Variant A:** dodatočné príjmy sú použité na znižovanie verejného dlhu a financovanie nutných dodatočných investícií je z externých zdrojov (napr. z európskych zdrojov),
- **Variant B:** dodatočné príjmy sú použité na znižovanie verejného dlhu a financovanie nutných dodatočných investícií je z vlastných zdrojov,
- **Variant C:** dodatočné príjmy idú späť do ekonomiky (nenastane zníženie verejného dlhu) a financovanie nutných dodatočných investícií je z externých zdrojov (napr. z európskych zdrojov),
- **Variant D:** dodatočné príjmy idú späť do ekonomiky (nenastane zníženie verejného dlhu) a financovanie nutných dodatočných investícií je z vlastných zdrojov.

V prípade recyklácie dodatočných príjmov (vo variantoch C a D) sú dodatočné environmentálne príjmy použité rovným dielom na financovanie zvýšených výdavkov v domácnostiach, zníženie všeobecného zdanenia a zvýšenie príspevku na sociálne poistenie. V dlhodobom horizonte po roku 2045 nie sú zvýšené environmentálne príjmy dostatočné na pokrytie dodatočných výdavkov domácností, preto v tomto období všetky varianty uvažujú s ich financovaním z vlastných zdrojov (samofinancovaním).

Rozdiel medzi financovaním z externých zdrojov (varianty A a C) a samofinancovaním z vlastných zdrojov (varianty B a D) spočíva najmä v tom, že časť prostriedkov určených pre iné investície alebo výdavky domácností a priemyslu bude presunutá na pokrytie týchto investičných potrieb.

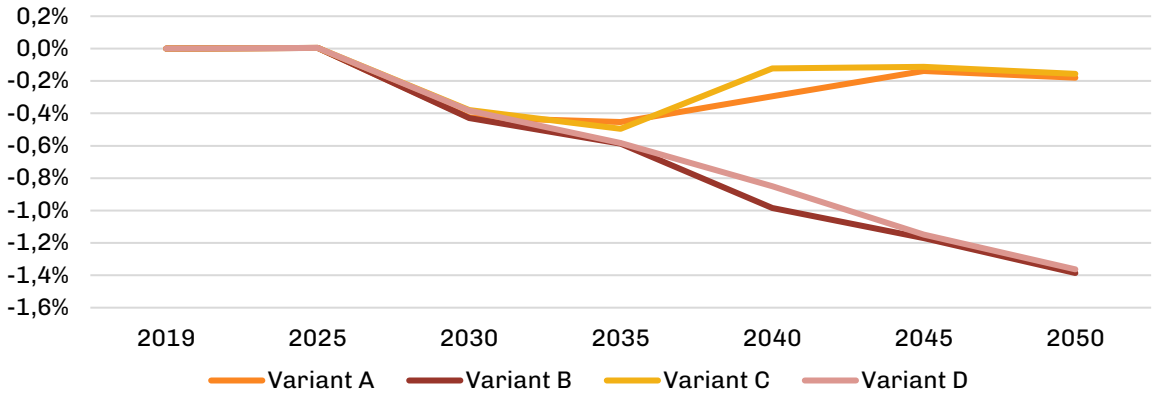
5.11.2 Výsledky modelovania

Dodatočné investície potrebné na zelenú transformáciu môžu vytesniť ostatné projekty na trhu, ak nebude zabezpečené externé financovanie. Vyššie spoplatnenie emisií skleníkových plynov (zvýšenie ceny ETS, zníženie podielu bezodplatných kvót) znamená aj zvýšené výrobné náklady v emisne náročných sektoroch. To zhoršuje ich konkurencieschopnosť a má negatívny dopad na export týchto produktov a spotrebu domácností. V prípade nezabezpečenia financovania investícií prichádza k nedostatku prostriedkov na kapitálovom trhu, čo vedie k zvýšeniu ceny kapitálu a príde k tzv. vytláčaciemu efektu (crowding out) investícií v iných sektoroch. Tento efekt môžeme pozorovať v scenároch s financovaním z vlastných zdrojov.

Nižšie prevádzkové náklady na dopravu, vykurovanie a chladenie podporia tvorbu úspor. Zvýšená investičná aktivita zmierni očakávané spomalenie rastu HDP. Pozitívny efekt nižších nákladov vo vykurovaní a doprave bude najciteľnejší pre obyvateľstvo, ktoré ich má najviac zastúpené v spotrebnom koši, t.j. najmä pre obyvateľov rodinných domov. Podobný efekt bude viditeľný aj v ostatných sektoroch, čo spôsobí zmierňovanie negatívneho efektu na rast HDP, ktoré je v roku 2050 vo variantoch s recykláciou dodatočných príjmov porovnateľné so scenárom WEM.

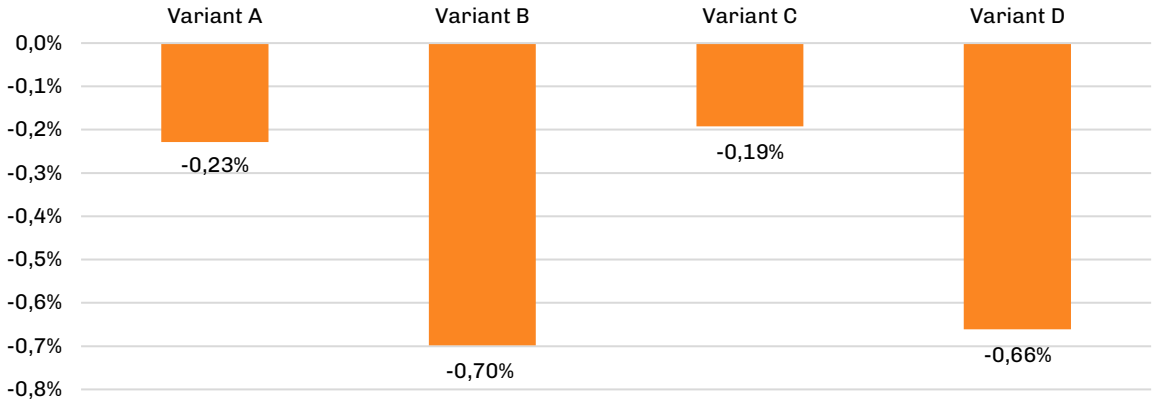
Znižovanie verejného dlhu (varianty A a B) zvyšuje dôveru finančných trhov v schopnosť štátu splácať záväzky a znižuje rizikové prirážky a úrokové náklady. Toto vedie k ekonomickému rastu a zníženiu rizika platobnej neschopnosti dlhodobých záväzkov, čo sa javí dôležitým v prípade Slovenska, ktoré už dnes čelí vysokým rizikovým prirážkam ako aj starnutiu populácie. Pokles úrokových sadzieb, za ktoré si požičiava štát, sa môže premietnuť do nižších sadzieb v komerčnom sektore, t.j. nižších úrokov na úvery pre firmy a domácnosti. To má priaznivý vplyv na investičnú aktivitu, dopyt či trh práce. Naopak, zvýšenie verejného dlhu môže z dlhodobého hľadiska spomaliť ekonomický rast a tiež prispieť k rastu inflácie. Napriek tomu je Variant B spojený s najväčším kumulatívnym úbytkom ekonomického rastu aj s najslabším rastom zamestnanosti.

Graf 155: Vývoj HDP za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM)[69]



Zdroj: GEM-E3-SK

Graf 156: Zmena kumulatívneho HDP za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM)[70]



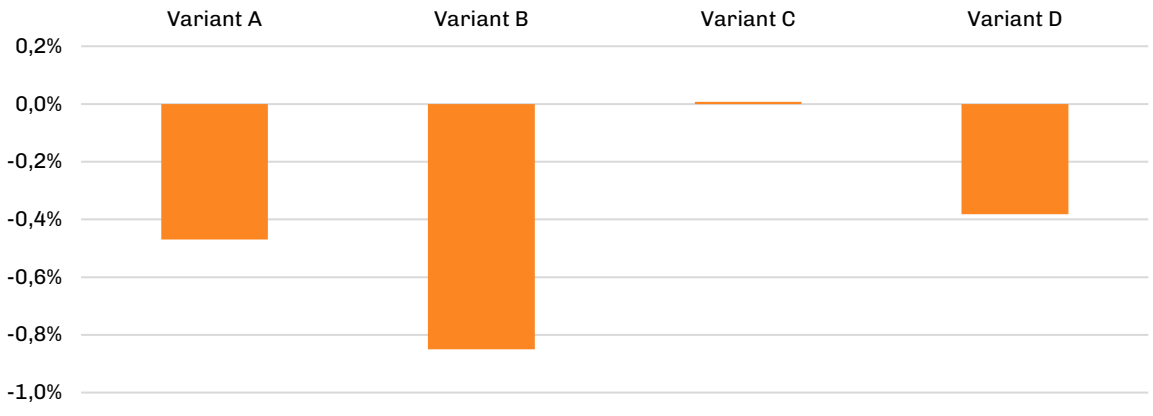
Zdroj: GEM-E3-SK

Dotácie pre domácnosti zvyšujú spotrebu domácností aj pri zvýšených investíciách. Investície domácnosti do energeticky úspornejších opatrení krátkodobo obmedzia ich spotrebu. Postupne sa v strednodobom horizonte začne prejavovať aj efekt zvýšenej energetickej efektívnosti spôsobený predchádzajúcimi investíciami, čím sa spotreba opäť navýši. Efekt môžeme vidieť na Graf 157, kde spotreba domácností vo variante C je vyššia ako vo variante A a vo variante D je vyššia ako vo variante B. Celkové zvýšenie v porovnaní so scenárom WEM nastáva ale len v prípade variantu C.

[69] Zmena oproti scenáru WEM udáva o koľko sa daný scenár líši od referenčného scenáru. Neudáva aký bude percentuálny rast v daných rokoch.

[70] Zmena kumulatívneho súčtu HDP za dané obdobie uvádza zmenu v nasčítanom HDP počas uvedenej doby, jedná sa o podobnú veličinu ako priemerná zmena HDP. Aj v nasledujúcich grafoch (číslo 156, 157 a 162) bude uvádzaná zmena kumulatívneho súčtu.

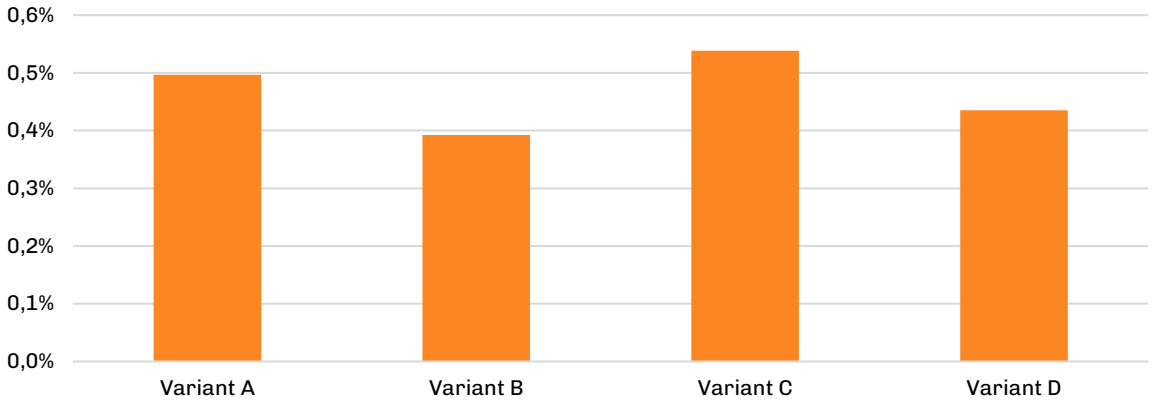
Graf 157: Zmena kumulatívnej spotreby domácností za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM)



Zdroj: GEM-E3-SK

Vyvolané investície zvyšujú zamestnanosť, čo tiež prispieva k rastu príjmov domácností. Domácnosti v krátkodobom horizonte investujú, čo zapríčiní nižšiu spotrebu vo všetkých variantoch. Zvýšená zamestnanosť odráža snahu domácností kompenzovať pokles spotreby a udržať si životný štandard. Nové pracovné miesta vzniknú v sektoroch spojených s energetickou transformáciou ako aj v odvetviach strojárstva spojených s výrobou bezemisných zariadení ako sú elektrické vozidlá, batérie či veterné elektrárne. Nárast pracovných miest je očakávaný aj v oblasti stavebníctva, kde bude realizované veľké množstvo investícií do energetickej efektívnosti. Naopak pracovné miesta zaniknú v sektoroch ťažby a spracovania fosílnych palív a chemickom priemysle. Celkovo scenáre s nižším dopadom na HDP prinášajú o niečo vyššiu zamestnanosť.

Graf 158: Zmena kumulatívnej zamestnanosti za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM)

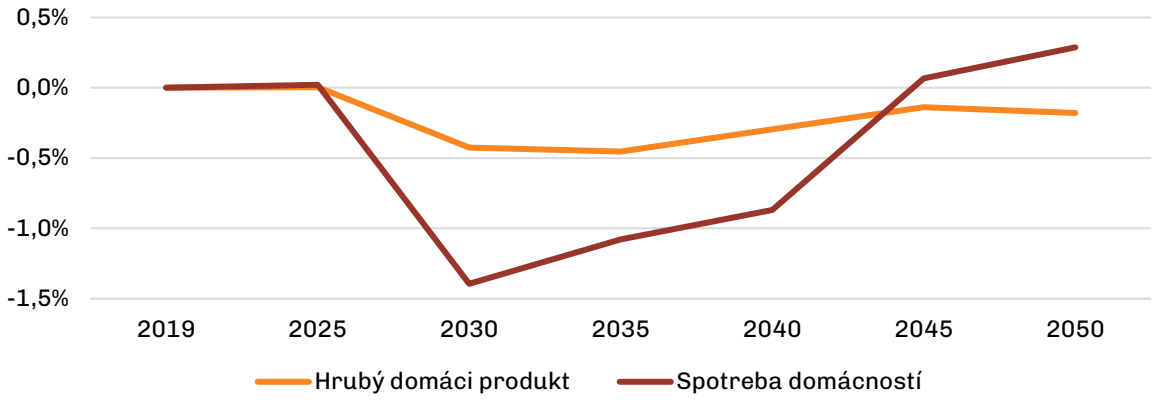


Zdroj: GEM-E3-SK

Súhrn výsledkov jednotlivých variantov

Vo variante A sú sprístupnené externé finančné zdroje, a teda nedochádza k nedostatku finančných prostriedkov. Dodatočné investície potrebné na výrobu energie, renováciu budov, energeticky účinné zariadenia a elektrické vozidlá preto nevytláčajú iné investície alebo výdavky domácností. V porovnaní so scenárom WEM však pozitívny efekt dodatočných investícií a výdavkov neprevyšuje zníženie spotreby. To je spôsobené zvýšením environmentálnych poplatkov. Dodatočné príjmy z týchto poplatkov sa nevracajú späť do národného hospodárstva, ale slúžia na konsolidáciu verejných financií a zníženie úrovne verejného dlhu.

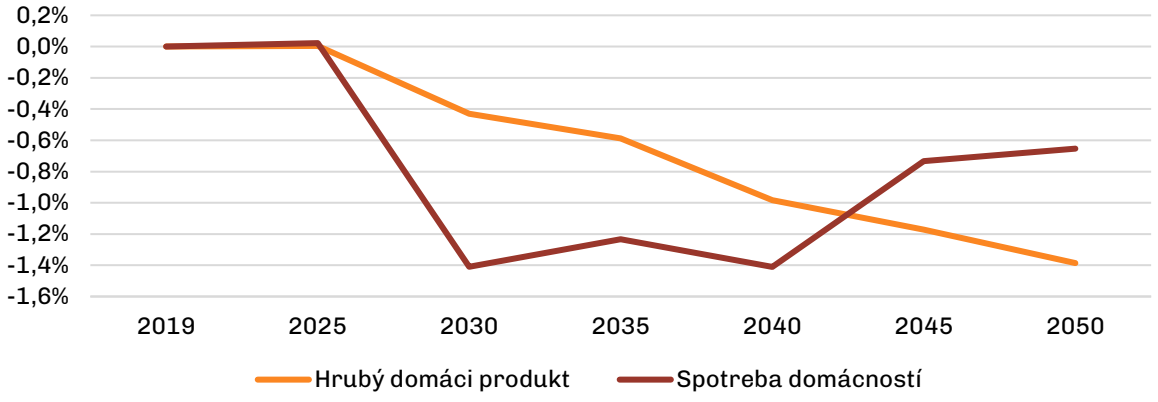
Graf 159: Vývoj HDP a spotreby domácností vo variante A za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM)



Zdroj: GEM-E3-SK

Vo variante B prichádza v porovnaní so scenárom WEM k najväčšiemu poklesu kumulatívneho HDP do roku 2050. Dôvodom je, že dodatočné environmentálne príjmy sa nevracajú späť do ekonomiky. Dôsledkom je nedostatok finančných zdrojov pre investície do zelenej transformácie, ktoré vytláčajú investície v iných sektoroch. Negatívny vplyv na HDP je spôsobený zvýšenými výrobnými nákladmi vedúcimi k zhoršeniu konkurencieschopnosti a zníženiu spotreby domácností. Vo výsledku má tento variant horší vývoj kumulatívneho HDP v porovnaní s variantom A aj vďaka nedostupnosti externých zdrojov pre dodatočné investície.

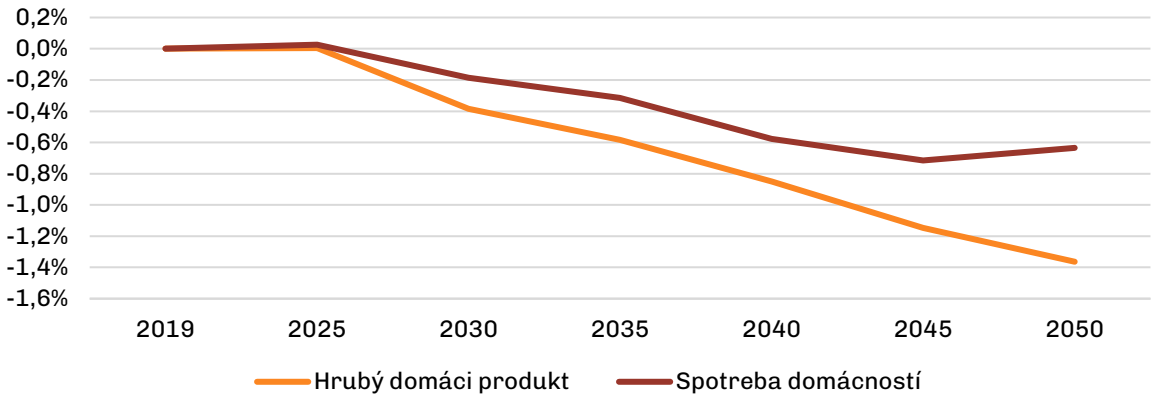
Graf 160: Vývoj HDP a spotreby domácností vo variante B za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM)



Zdroj: GEM-E3-SK

Vo variante D sa do roku 2040 dodatočné environmentálne príjmy použijú na krytie dodatočných výdavkov domácností a zvyšok je použitý na zníženie všeobecného zdanenia a zníženie príspevkov do sociálneho zabezpečenia. Podobne ako variant B, aj variant D predpokladá nedostatok domácich finančných zdrojov. Investície potrebné na transformáciu energetického systému je možné nájsť až na úkor iných investícií. Dôsledkom toho je rast HDP nižší ako vo variante A, ale zároveň vyšší ako vo variante B.

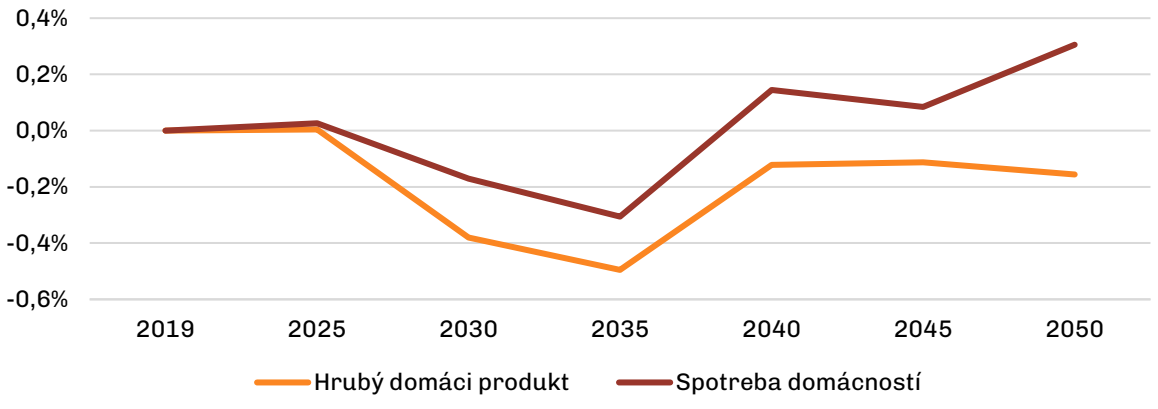
Graf 161: Vývoj HDP a spotreby domácností vo variante D za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM)



Zdroj: GEM-E3-SK

Najpriaznivejší vývoj HDP aj spotreby domácností je vo variante C. V tomto variante sa v strednodobom horizonte dodatočné environmentálne príjmy použijú na financovanie dodatočných výdavkov domácností a zvyšok na zníženie všeobecného zdanenia a príspevkov do sociálnej poisťovne. Dodatočné investície sa financujú z agregátnych úspor, čím nevzniká nedostatok finančných prostriedkov. Zavedenie ETS2, zrušenie bezodplatných kvót a zvýšenie ceny ETS bude mať negatívny vplyv na HDP v roku 2030. Dodatočné výdavky domácností na elektrické vozidlá a energeticky účinné zariadenia sú financované prostredníctvom vrátenia environmentálnych príjmov do ekonomiky. To spôsobuje zníženie konkurencieschopnosti emisne náročných odvetví a zvýšenie výdavkov domácností.

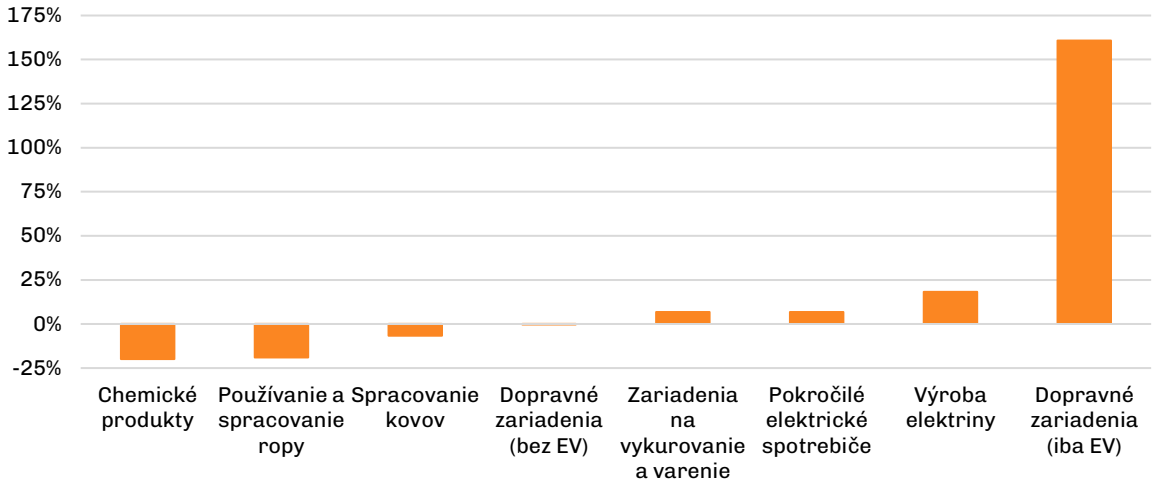
Graf 162: Vývoj HDP a spotreby domácností vo variante C za roky 2019 až 2050 (% zmena oproti WEM)



Zdroj: GEM-E3-SK

Najväčší rozvoj vo variante C v porovnaní so scenárom WEM nastáva v sektoroch úzko súvisiacich s energetickou transformáciou. Jedná sa hlavne o rapídne sa rozvíjajúce oblasti výroby elektriny, vodíka, batérií, solárnych panelov a iných zariadení priamo potrebných pre energetický systém. Veľký rozvoj je možné očakávať aj v oblasti výroby automobilov, špecificky elektrických batériových vozidiel ako aj v stavebníctve (navýšenie o 0,3 %), ktoré je hnané investíciami do energetickej efektívnosti. Naopak útlm môžeme očakávať v sektoroch spojených s fosílnymi palivami a niektorých emisne náročných sektoroch. Týmto sektorom sa zvyšujú náklady na produkciu a klesá dopyt po ich produktoch, napríklad v dôsledku investícií do energetickej efektívnosti.

Graf 163: Zmena kumulatívnej produkcie v sektoroch vo variante C od roku 2019 do roku 2050 (% zmena oproti WEM)[71]



Zdroj: GEM-E3-SK

Vyššie preskúmané scenáre predstavujú hraničné možnosti ohľadom financovania nutných environmentálnych investícií aj použitia príjmov z environmentálnych daní a poplatkov. V praxi je samozrejme možné nastaviť súvisiace politiky ako kombinácie vyššie uvedených možností. Je predpoklad, že Slovensko bude chcieť využiť externé zdroje v plnej miere, ale nie je možné realisticky očakávať, že sa z nich podarí financovať všetky nutné investície. Na druhej strane z historického vývoja verejného dlhu je pravdepodobné, že aspoň časť príjmov z environmentálnych poplatkov by mohla byť vrátená späť do ekonomiky.

[71] Uvádzané sú len sektory, kde nastala signifikantná zmena rozdielu absolútnych hodnôt kumulatívnej produkcie oproti scenáru WEM

6 Náklady implementácie scenára WAM

Pre dosiahnutie výsledkov scenára WAM bude v porovnaní so scenárom WEM potrebné investovať dodatočné kapitálové zdroje. Veľká časť z týchto investícií prinesie okrem zlepšenia energeticko-klimatických indikátorov aj prevádzkové úspory.

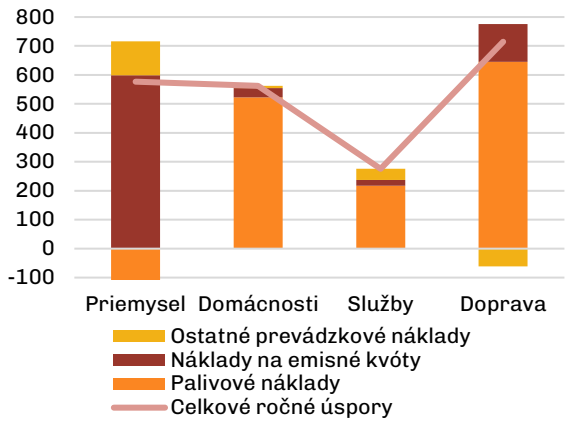
6.1 Náklady z modelu CPS

So zvýšenou energetickou efektívnosťou je spojené znižovanie palivových nákladov[72]. Znižovanie emisií skleníkových plynov prinesie tiež nižšie náklady na kúpu emisných kvót. V súvislosti s vyššou mierou obnovy zariadení a ich vyššou kvalitou mierne klesajú aj ostatné prevádzkové náklady (najmä náklady na údržbu a servis zariadení).

Energetický systém vyžaduje pravidelné investície do zariadení a technológií. Tieto investície súvisia so životnosťou zariadení, dostupnosťou nových alebo vylepšených technológií, ale tiež aj s nutnosťou plnenia technologických a legislatívnych noriem. Množstvo investícií závisí najmä od ich návratnosti (t. j. od pokrytia kapitálových nákladov cez zníženie prevádzkových nákladov), ako aj od legislatívneho rámca, ktorý prináša napr. sprísnenie noriem (ako napr. emisné štandardy v doprave) alebo zavádza nové finančné povinnosti (ako napr. zavedenie obchodovania s emisnými kvótami).

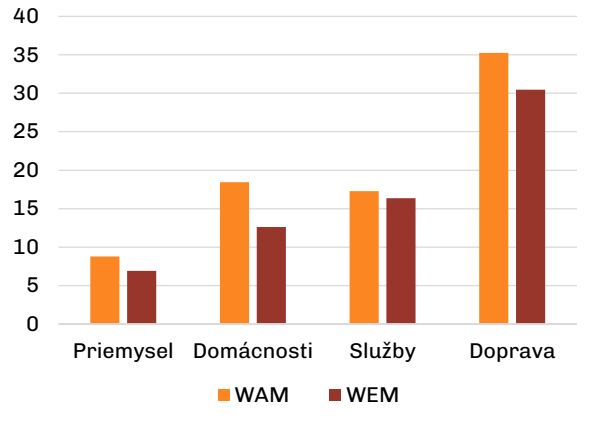
Pre dosiahnutie výsledkov scenára WAM bude potrebné v období rokov 2021 – 2030 investovať o približne 15,4 mld. eur viac v porovnaní s WEM, t. j. 1,54 mld. eur ročne, resp. približne 1,02 % HDP roku 2023. V dôsledku týchto investícií do roku 2030 klesnú v porovnaní so scenárom WEM ročné prevádzkové náklady o približne 2,2 mld. eur, z čoho 1,3 mld. eur sú úspory na palivách, takmer 800 mil. eur tvoria úspory na emisných kvótach a približne 100 mil. eur tvoria úspory na ostatných prevádzkových nákladoch.

Graf 164: Výška celkových ročných úspor scenára WAM v roku 2030 (v mil. EUR (2023))[73]



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 165: Porovnanie výšky investícií WAM do roku 2030 (v mld. EUR (2023))



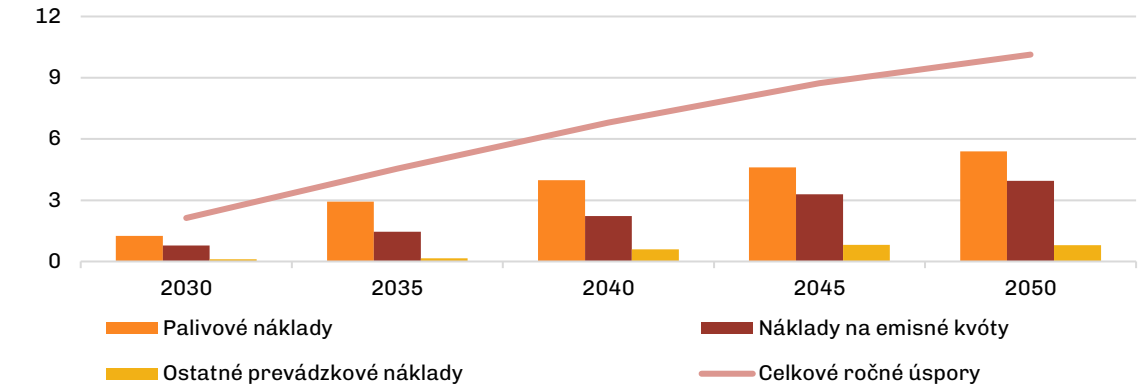
Zdroj: IEP podľa CPS

[72] Všetky ceny v tejto kapitole sú v cenovej hladine pre rok 2023

[73] V porovnaní so scenárom WEM, pričom nastavenie kvót je rovnaké pre scenáre WEM a WAM, t.j. nie sú dostupné žiadne bezodplatné kvóty a cena kvóty je určená cenou pre scenár WAM

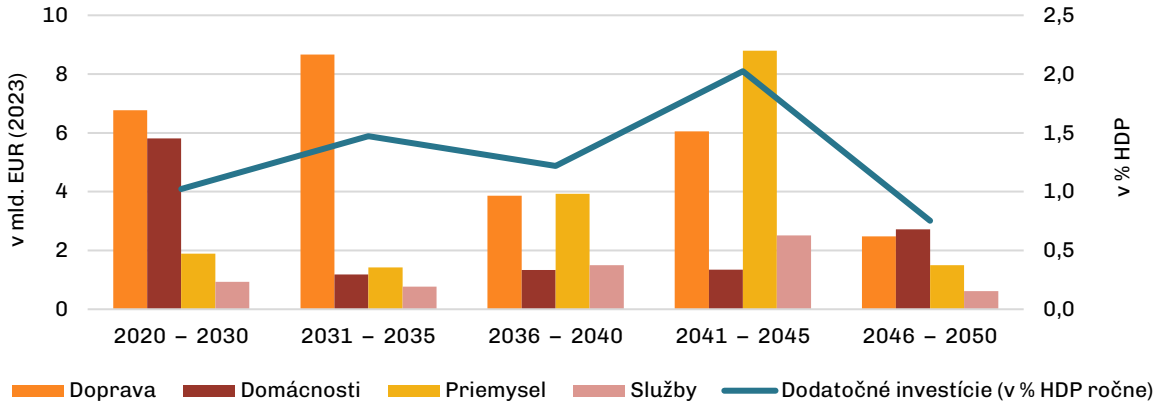
Celkové dodatočné náklady scenára WAM v porovnaní so scenárom WEM v modeli CPS dosiahnú 64 mld. eur. Ročné investície sa budú pohybovať od 0,75 % do 2 % HDP. V rokoch 2041 až 2045 sa navýšia investície najmä v kovospracujúcom priemysle, kde dochádza na prechod na priamu redukciu železnej rudy. Prechod nákladnej dopravy na batériový a vodíkový pohon si vyžiada v danom období zvýšené investície. Celkové úspory budú predstavovať približne 10 mld. eur ročne. Najväčšiu časť úspor budú predstavovať palivové náklady, najmä vo vykurovaní a doprave, kde elektrické zariadenia sú efektívnejšie.

Graf 166: Výška celkových ročných úspor scenára WAM (v mld. EUR (2023))



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 167: Výška dodatočných investícií scenára WAM v dopytových sektoroch[74]



Zdroj: IEP podľa CPS

6.1.1 Priemysel

Pre dosiahnutie úspor v oblasti energetickej efektívnosti a za účelom znižovania emisií skleníkových plynov v priemysle je v scenári WAM v období rokov 2021 - 2030 potrebné investovať minimálne dodatočných 1,9 mld. eur v porovnaní so scenárom WEM. Väčšina (1,3 mld. eur až potenciálne viac ako 2 mld. eur) smeruje do oceliarskeho priemyslu za účelom nahradenia vysokých pecí za elektrické oblúkové pece. V stavebnom priemysle dodatočné investície v hodnote približne 270 mil eur vedú k vyššiemu využitiu tuhých alternatívnych palív v kombinácii so zvýšením energetickej efektívnosti. Na podporu týchto investícií boli vyčlenené zdroje z Modernizačného fondu a Plánu obnovy[75]

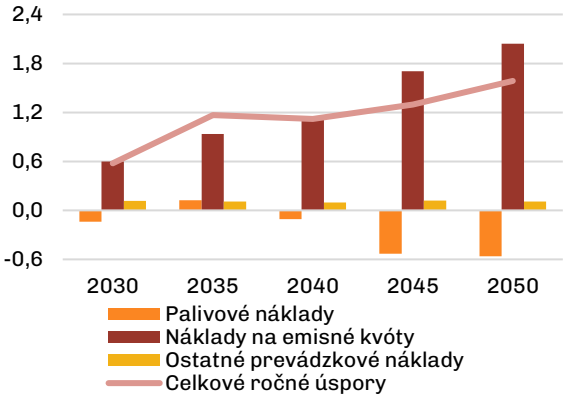
[74] Hodnoty v grafe sú okrem výnimky pre rok 2030 uvádzané za päťročné obdobie predchádzajúce uvedenému roku, pričom výška HDP je určená v záverečnom roku.

[75] V súčasnosti sa už nepredpokladá čerpanie zdrojov Plánu obnovy a odolnosti v prospech transformácie oceliarskeho priemyslu. Pravdepodobnosť využitia zdrojov z Modernizačného fondu taktiež klesla, avšak vzhľadom na dlhší horizont ich použitie pre tento účel nie je vylúčené.

a odolnosti. Investície do roku 2030 znížia ročné náklady na palivá, emisné kvóty a prevádzku zariadení až o približne 650 mil. eur. Ide o projekty s krátkou dobou návratnosti, ktoré ale vyžadujú veľký objem vstupného kapitálu.

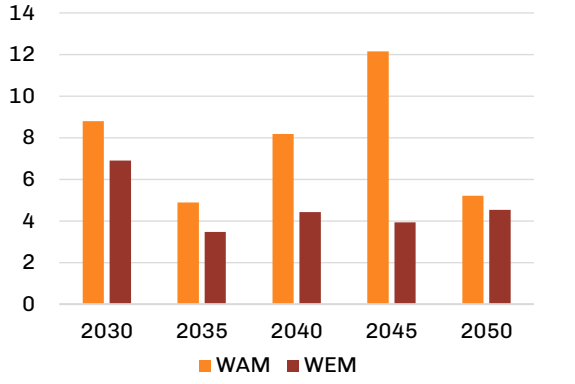
Medzi rokmi 2030 a 2050 sa v scenári WAM investuje o 15 mld. eur viac ako v scenári WEM. Najväčší rozdiel 8,2 mld. eur je v roku 2045 najmä v dôsledku prechodu na priamu redukciu železnej rudy v oceliarskom priemysle. Prechod na potrubnú plynovú zmes si taktiež vyžaduje výrazné investície do nových technológií. V dôsledku investícií do nízko emisných technológií v roku 2050 priemysel bude ročne pri cene 487 eur na tonu šetriť na nákupe emisných kvót približne 2 mld. eur. Dokopy po započítaní palivových nákladov a iných prevádzkových nákladov dosiahnu ročné prevádzakové úspory 1,6 mld. eur.

Graf 168: Výška ročných úspor v priemysle (v mld. EUR (2023))



Zdroj: IEP podľa CPS

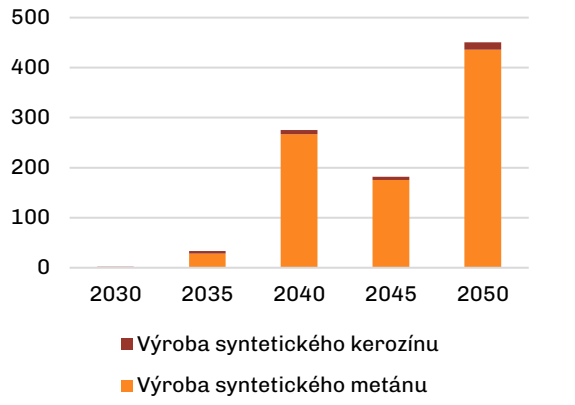
Graf 169: Výška investícií v priemysle (v mld. EUR (2023))



Zdroj: IEP podľa CPS

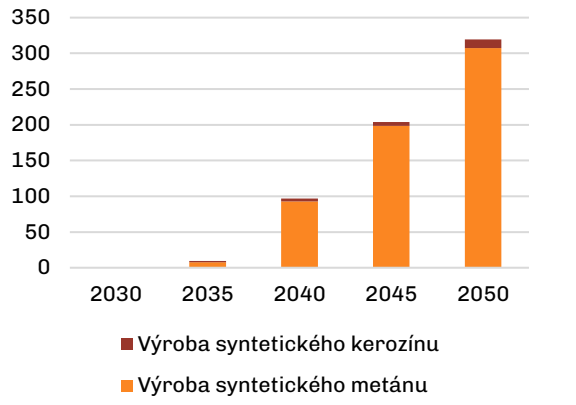
Celkové náklady spojené so záchytom a výrobou sytetických palív sa pohybujú okolo 404 EUR na tonu CO_2 vo výrobe syntetického kerozínu a 530 EUR na tonu CO_2 pri výrobe syntetického metánu. Výroba vodíka pomocou elektrolýzy vstupuje do výrobných nákladov. Vzhľadom na nižší podiel vodíka k uhlíku v reakcii výroby kerozínu sú aj náklady nižšie. V súčastnosti sa náklady spojené so záchytom a výrobou syntetických palív sa odhadujú približne v rozmedzí 1 127 až 1 418 EUR na tonu zachyteného CO_2 (Montagnaro, 2023). Očakáva sa, že náklady výroby sytnterických palív klesnú v dôsledku dozretia technológií a ich prieniku na trh.

Graf 170: Kapitálové náklady na výrobu syntetických palív (v mil. EUR (2023))



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 171: Operačné náklady na výrobu syntetických palív (v mil. EUR (2023))

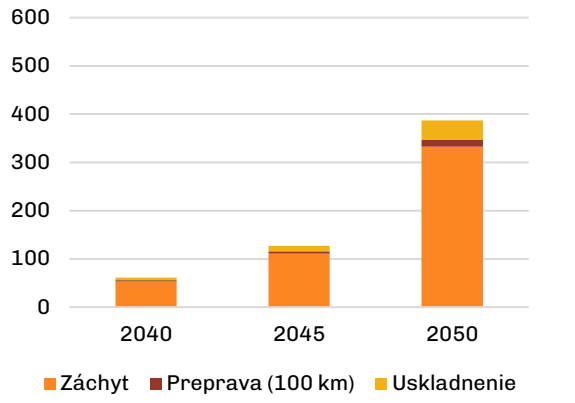


Zdroj: IEP podľa CPS

Náklady spojené so záchytom, prepravu a uskladnením CO_2 sa v priemere pohybujú okolo 120,8 až 146,7 EUR na tonu v blízkom variante a 155,7 až 187,6 EUR na tonu vo vzdialenom variante úložiska. Náklady zahŕňajú cenu na záchyt, prepravu a uloženie.

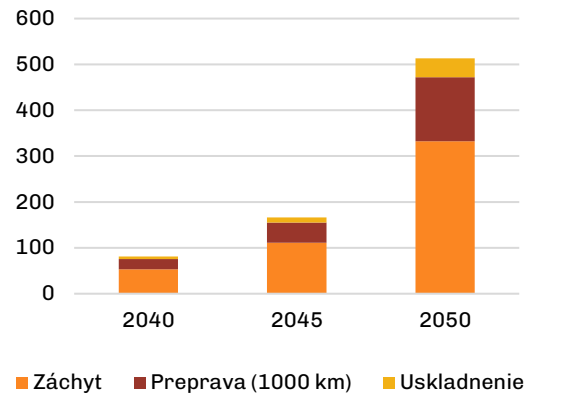
Cena na záchyt sa líši medzi jednotlivými priemyselnými procesmi v závislosti od koncentrácie CO_2 vo vypúšťanom plyne. Ceny prepravy a ukladania podliehajú úsporám z rozsahu. Preprava je modelovaná pre jednotlivé prevádzky samostatne. Modelované sú dva varianty pre prepravu. Uložiská sa nachádzajú do 100 km alebo do 1000 km od miesta produkcie emisii.

Graf 172: Celkové náklady na záchyt, prepravu a uskladnenie CO_2 vo variante s úložiskom vzdialeným 100 km (v mil. EUR (2023))



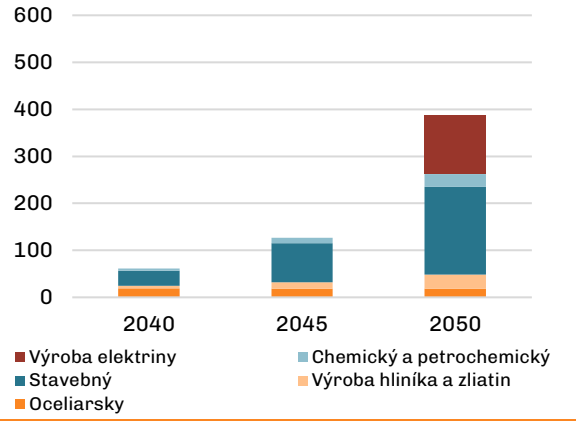
Zdroj: IEP

Graf 173: Celkové náklady na záchyt, prepravu a uskladnenie CO_2 vo variante s úložiskom vzdialeným 1000 km (v mil. EUR (2023))



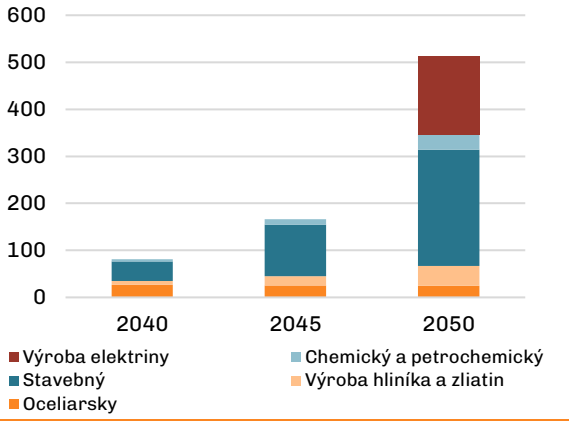
Zdroj: IEP

Graf 174: Celkové náklady na záchyt, prepravu a uskladnenie CO_2 podľa sektorov s úložiskom vzdialeným 100 km (v mil. EUR (2023))



Zdroj: IEP

Graf 175: Celkové náklady na záchyt, prepravu a uskladnenie CO_2 podľa sektorov s úložiskom vzdialeným 1000 km (v mil. EUR (2023))



Zdroj: IEP

6.1.2 Domácnosti

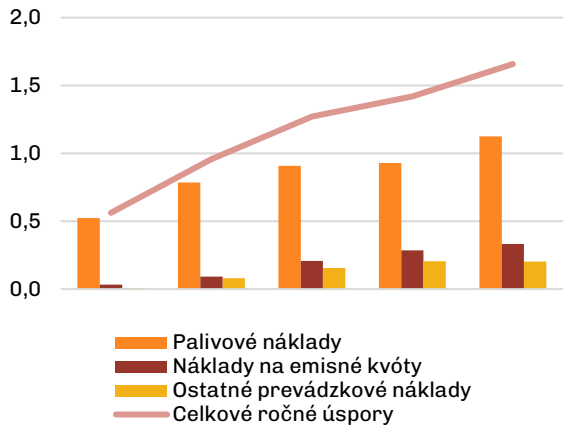
Výška dodatočných investícií v sektore domácností by v období rokov 2021 - 2030 mala dosiahnuť približne 5,8 mld. eur. Väčšina z tejto sumy (5,4 mld. eur) by mala byť použitá na zlepšenie termoizolačných vlastností budov, zvyšná časť na výmenu zariadení na vykurovanie, osvetlenie a ohrev vody. Časť z týchto investícií má byť pokrytá z výziev Plánu obnovy a odolnosti, Programu Slovensko či zo Sociálno-klimatického fondu.

Tempo zlepšovania termoizolačných vlastností budov bude v scenároch kolísať. V investíciach do termoizolačných vlastností budov sa po roku 2030 očakávaná výrazne zníženie v scenári WAM a následne postupné zvyšovanie ale aj zníženie investícií v scenári WEM v roku 2050. Naopak, vzrastú investície do efektívnejších zariadení – najmä do tepelných čerpadiel používaných vo vykurovaní. Dodatočné investície scenára

WAM medzi rokmi 2030 a 2050 budú približne 6,6 mld. eur, pričom na zlepšenie termoizolačných vlastností budov sa investuje približne 4,5 mld. eur.

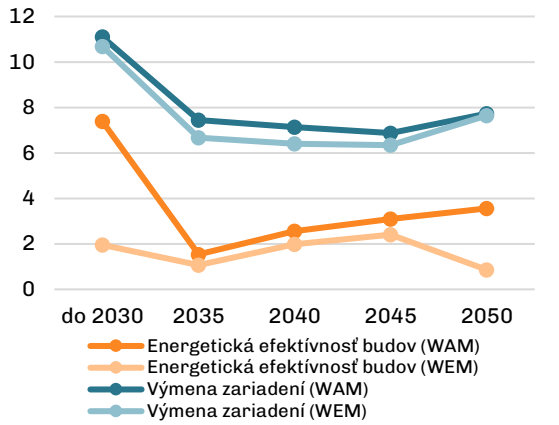
Palivové náklady v sektore domácnosti klesnú vďaka investičným projektom do roku 2030 o 510 mil. eur ročne. Ďalšie úspory vo výške približne 30 mil. eur ročne prinesú znížené nároky na kúpu kvót po zavedení systému ETS2. Do roku 2050 budú palivové náklady v scenári WAM v porovnaní so scenárom WEM nižšie až o 34,4 %, čo prinesie úsporu 1,1 mld. eur ročne. Dokopy s nákladmi na emisné kvóty a prevádzkovými nákladmi sa ušetrí približne 1,6 mld. eur ročne.

Graf 176: Výška ročných úspor v domácnostiach (v mld. EUR (2023))



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 177: Výška dodatočných investícií v domácnostiach (v mld. EUR (2023))



Zdroj: IEP podľa CPS

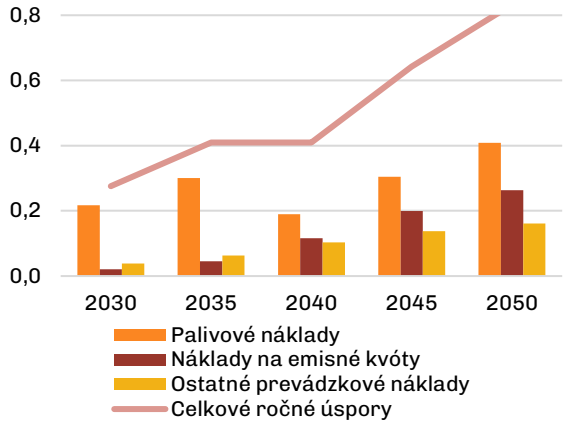
6.1.3 Služby

V sektore služieb je pre dosiahnutie výsledkov scenára WAM v období rokov 2021 - 2030 potrebné investovať dodatočných 930 mil. eur. Približne 700 mil. eur budú tvoriť náklady na zvýšenie energetickej efektívnosti budov, menšia časť pôjde na výmenu vykurovacích a elektrických zariadení.

Investície povedú k zníženiu palivových nákladov o 200 mil. eur ročne do roku 2030. Z dôvodu zlepšenej energetickej efektívnosti a úpravy palivového mixu tiež vzniknú úspory na kúpe emisných kvót (ETS2) vo výške 21 mil. eur ročne.

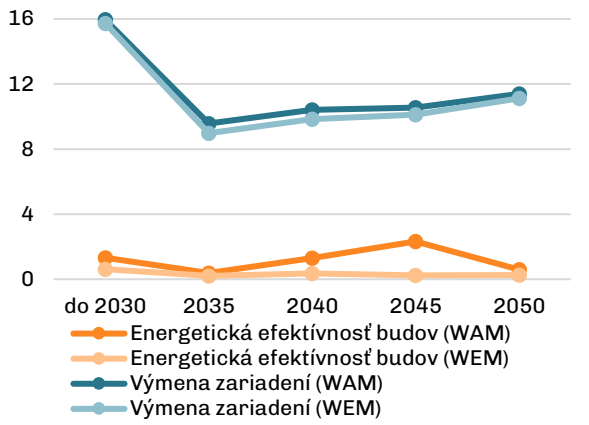
Medzi rokmi 2030 a 2040 sa očakáva výrazne navýšenie investícií do efektívnejších zariadení, akými sú najmä tepelné čerpadlá (100 až 120 mil. eur ročne). Po roku 2040 sa tiež výrazne navýšia ďalšie investície do termoizolačných vlastností budov (približne 400 mil. eur ročne medzi 2040 a 2045). Celkové náklady v sektore medzi rokmi 2030 a 2050 dosiahnu 5,4 mld eur. V roku 2050 sa v sektore služieb ročne ušetrí približne 770 mil. eur, z toho približne 350 mil. eur na palivových nákladoch a 260 mil. eur na emisných nákladoch.

Graf 178: Výška ročných úspor v službách (v mld. EUR (2023))



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 179: Výška dodatočných investícií v službách (v mld. EUR (2023))



Zdroj: IEP podľa CPS

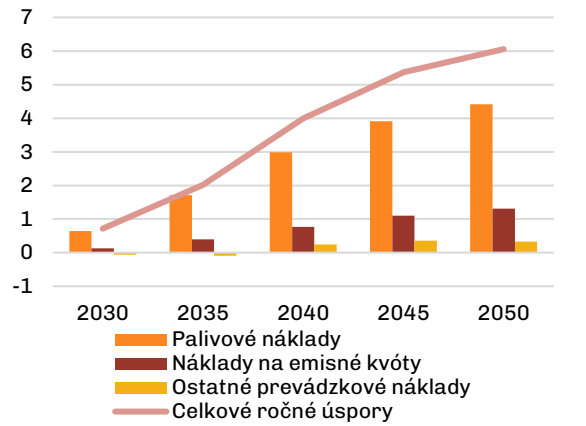
6.1.4 Doprava

Kľúčovým opatrením v sektore dopravy je elektrifikácia. Vozidlá s elektrickým pohonom majú vyššie investičné náklady, preto je potrebné do roku 2030 investovať do nových vozidiel dodatočných 6,7 mld. eur. Investície do osobných vozidiel dosiahnu približne 3,3 mld. eur, do nákupu úžitkových vozidiel pôjde ďalších 1,9 mld. eur. Zvyšné náklady budú najmä vo verejnej cestnej a železničnej doprave.

Investície budú mať výrazný dosah na zníženie ročných palivových nákladov (640 mil. eur), a po zavedení systému ETS2 tiež nákladov na emisné kvóty (130 mil. eur). Naopak, príde k miernemu navýšeniu ostatných prevádzkových nákladov (60 mil. eur) z dôvodu očakávaných mierne vyšších nákladov na servis a opravu elektrických vozidiel, ktoré sú spôsobené dočasne nižšou dostupnosťou špecializovaných servisných prác.

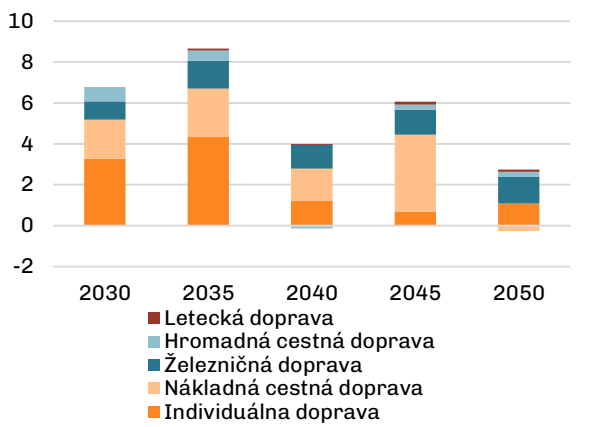
Celkové dodatočné investície medzi rokmi 2030 a 2050 dosiahnu približne 21 mld. eur. Kvôli dlhodobému poklesu cien vozidiel s elektrickým pohonom bude klesať aj miera dodatočných investícií v prepočte na jedno vozidlo. Dôsledkom elektrifikácie v roku 2050 dôjde k výraznému zníženiu očakávaných celkových ročných nákladov systému[76] o 5,6 mld. eur, t.j. približne o 1 400 eur na priemerné vozidlo. K optimalizácii nákladov v doprave tiež pomôže presun časti individuálnej dopravy do verejnej dopravy.

Graf 180: Výška ročných úspor v doprave (v mld. EUR (2023))



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 181: Výška dodatočných investícií v doprave (v mld. EUR (2023))



Zdroj: IEP podľa CPS

[76] Po započítaní ročného ekvivalentu investičných nákladov

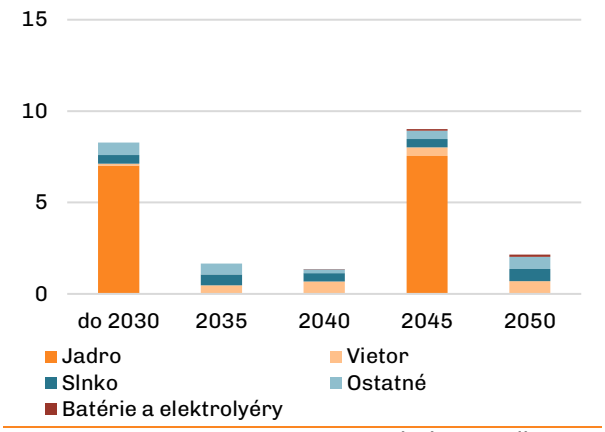
6.1.5 Náklady vo výrobe a preprave elektriny a tepla

Náklady v tejto oblasti sú započítané do ceny elektrickej energie a tepla pre koncového užívateľa. Z tohto dôvodu, a za účelom vyhnutia sa dvojitému započítavaniu, ich nie je možné sčítať s nákladmi v iných sektoroch.

V scenári WEM dochádza do roku 2030 k investíciám v objeme približne 8,3 mld. eur. Väčšina tejto sumy (84,8 %) je investovaná do stavby dvoch blokov jadrovej elektrárne Mochovce. Medzi rokmi 2030 a 2050 sa v súvislosti s výstavbou nových zdrojov a zabezpečením bezpečného fungovania siete očakávajú náklady vo výške 14,2 mld. eur. Približne polovica z tejto sumy bude využitá na nahradenie jadrovej elektrárne v Jaslovských Bohuniach novým zdrojom. Investície do obnoviteľných zdrojov budú tvoriť približne 31,6 % nákladov.

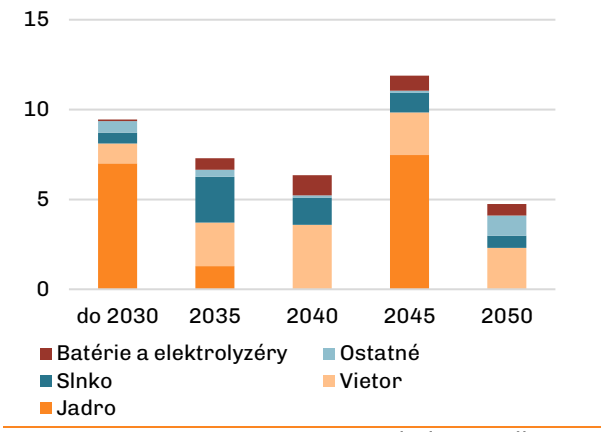
Zvýšený dopyt po elektrickej energii v scenári WAM si bude vyžadovať výrazné navýšenie investícií v tejto oblasti. Do roku 2030 dosiahnu dodatočné náklady približne 1,2 mld. eur, ktoré budú investované najmä do obnoviteľných zdrojov energie. V roku 2035, sa očakáva výstavba malého modulárneho reaktora. Investície budú nadalej smerovať do obnoviteľných zdrojov a do regulačných systémov. Celkové dodatočné náklady scenára WAM dosiahnu medzi rokmi 2030 a 2050 približne 16,1 mld. eur.

Graf 182: Investície do energetických zariadení (WEM, v mld. EUR (2023))[77]



Zdroj: IEP podľa CPS

Graf 183: Investície do energetických zariadení (WAM, v mld. EUR (2023))



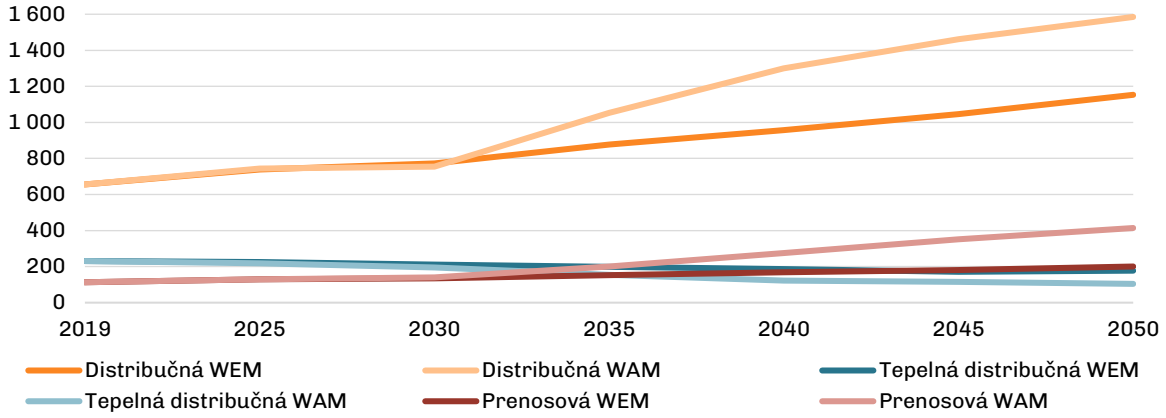
Zdroj: IEP podľa CPS

Pod vplyvom vyššieho dopytu po elektrickej energii v oboch scenároch narastú ročné výdavky na prevádzku prenosovej a distribučnej sústavy[78]. V scenári WAM narastú výdavky prenosovej sústavy do roku 2050 o 266 % a v scenári WEM o 77,2 %. Výdavky distribučnej siete narastú v scenári WAM o 142 % a v scenári WEM o 75,8 %. Naopak, nižší dopyt po teple spôsobí pokles nákladov na jeho distribúciu v scenári WAM o 54,9 % a v scenári WEM o 23 %.

[77] Kapitálové náklady zariadení sú uvažované ako tzv. overnight costs, čo znamená, že nie je uvažované s nákladmi na financovanie. Čo hlavne pre veľké nákladné zdroje s dlhou dobou výstavby ako jadrové zdroje môže tvoriť podstatnú časť finálnych nákladov.

[78] Do ročných prevádzkových nákladov sú započítané aj ročné ekvivalenty kapitálových nákladov.

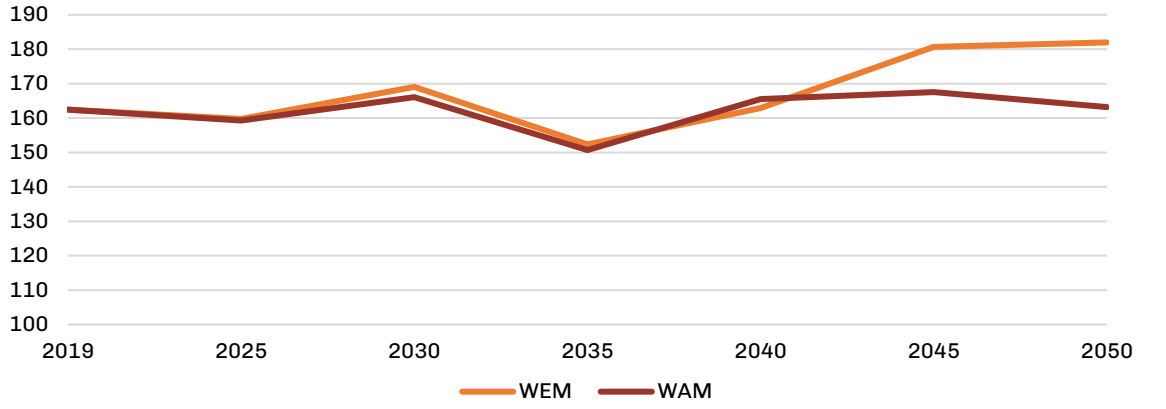
Graf 184: Ročné výdavky na prenosové a distribučné sústavy (v mil. EUR (2023))



Zdroj: IEP podľa CPS

V oboch scenároch sa vývoj ceny elektrickej energie drží na približne rovnakej úrovni do roku 2040, neskôr je cena v scenári WAM nižšia. Hlavnými faktormi, ktoré ovplyvňujú cenu elektrickej energie, sú najmä rast podielu obnoviteľných zdrojov (zníženie ceny) a investície do nových jadrových zdrojov (navýšenie ceny). Popri zdrojovej základni hrajú dôležitú úlohu tiež náklady na prenos a distribúciu elektrickej energie.

Graf 185: Priemerná cena elektrickej energie s DPH a poplatkami (v EUR (2023) na MWh)[79]



Zdroj: IEP podľa CPS

6.2 Náklady neenergetických sektorov

V porovnaní s modelom CPS sú modely v neenergetických sektoroch založené na implementácii jednotlivých opatrení, ktorých efekty sa vzájomne ovplyvňujú len minimálne (poľnohospodárstvo), resp. vôbec. Zároveň platí, že náklady jednotlivých opatrení popisujú výhradne efekty daného opatrenia, a preto sú na toto opatrenie naviazané[80]. V mnohých prípadoch tiež nejde o náklady spojené s implementáciou samotného opatrenia, ale o hospodársku stratu, resp. zisk, ktorý dané opatrenie prinesie.

6.2.1 LULUCF

Pre dosiahnutie klimatickej neutrality v roku 2050 si opatrenia na záchyt skleníkových plynov v sektore LULUCF vyžiadajú dodatočných 4,4 mld. eur. Najväčšia časť tejto sumy

[79] Uvádzná cene elektriny je priemernou cenou vyrobenej elektriny. V realite je cena elektriny tvorená vo výraznej väčšine na základe dlhodobých kontraktov, zvyšok pochádza zo spotového trhu s marginálnym ocenením. Nie je účelom tohto modelu presne reprezentovať tieto mechanizmy, preto dochádza k voľbe rozumnej cenovej proxy s vhodnými numericko matematickými vlastnosťami pre modelovú optimalizáciu.

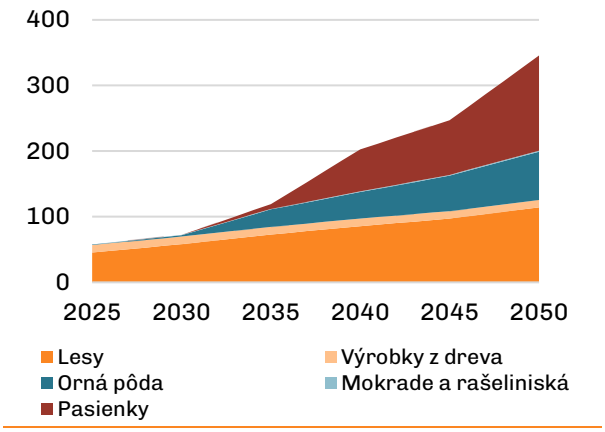
[80] V prípade modelu CPS je náročnejšie posúdiť náklady jednotlivých opatrení, nakoľko prepojenie na celý systém je výrazne vyššie.

(približne 2 mld. eur) pripadá na lesy a lesnú pôdu, kde je potenciál pre záchyty najvyšší. Približne rovnakú sumu bude potrebné investovať do poľnohospodárskych pôd (1,2 mld. do pasienkov, 800 mil. pre orné pôdy), kde bude potrebné výrazne navýšiť záchyty oproti súčasnému stavu.

Náklady v sektore LULUCF sa budú každým rokom zvyšovať, avšak najmä v oblasti lesov a lesnej pôdy je potrebné výrazne investovať už v najbližších rokoch. Väčšina nákladov v tomto sektore pripadne do roku 2030 na lesy a lesnú pôdu. Náklady v ostatných sektoroch budú rasť najmä po roku 2035, kedy začnú byť finančne dostupné aj opatrenia uplatňované v poľnohospodárstve.

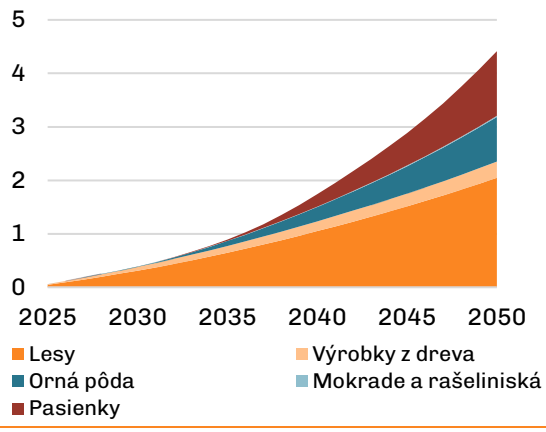
Najviac nákladnými opatreniami sú zníženie podielu obnovy lesa a zmeny v spôsobe pasenia. Náklady na tieto opatrenia dosahujú do roku 2050 kumulatívne 1,5 mld., resp. 900 mil. eur. Tieto náklady sú spojené najmä so znížením objemu predaného dreva (tzv. ušlý zisk) a nutnosti zvýšenej zamestnanosti v pasení dobytka.

Graf 186: Ročné dodatočné náklady scenára WAM v LULUCF (v mil. EUR (2023))



Zdroj: IEP

Graf 187: Kumulatívne náklady scenára WAM v LULUCF (v mld. EUR (2023))



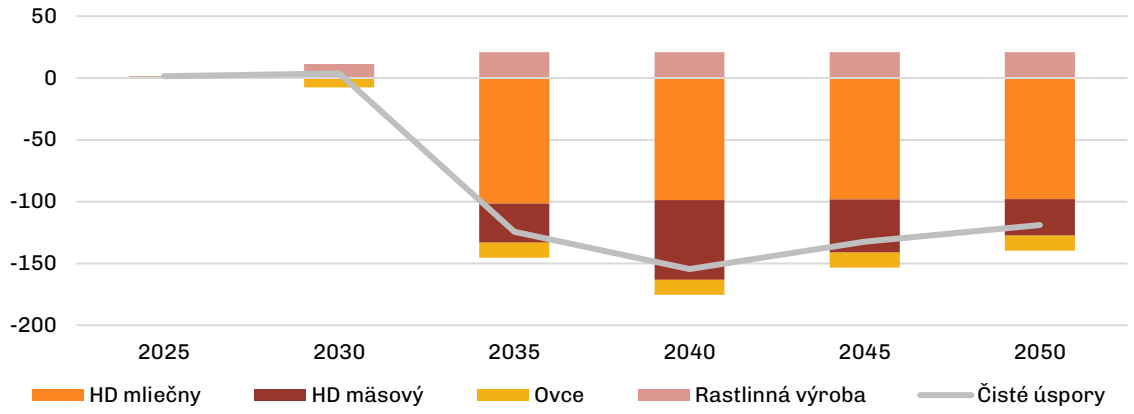
Zdroj: IEP

6.2.2 Poľnohospodárstvo

Znižovanie emisií skleníkových plynov v poľnohospodárstve môže priniesť zásadné finančné benefity vďaka navyšovaniu produktivity v živočíšnej výrobe. V scenári WAM sa očakávajú v roku 2050 úspory vo výške 119 mil. v porovnaní so scenárom WEM. K úsporám dochádza najmä prostredníctvom opatrení, ktoré zvyšujú efektivitu, ako napr. zlepšením dlhovekosti (137 mil. eur) alebo využitím kríženia a selekcie dobytka a oviec (57 mil. eur). Naopak, opatrenia, ktoré sa týkajú úpravy kŕmnych dávok alebo pridávania aditív, si vyžiadajú náklady vo výške približne 63 mil. eur. Zariadenia na priamy záchyt metánu si vyžiadajú približne 2,3 mil. eur ročne.

Opatrenia v rastlinnej výrobe si vyžiadajú približne 20,9 mil. eur ročne v roku 2050. V rastlinnej výrobe sú všetky opatrenia zamerané na znižovanie emisií oxidu dusného. Ide najmä o zníženie spotreby hnojív prostredníctvom precíznych poľnohospodárskych techník (5,3 mil. eur), odklon od močoviny v prospech hnojiva so stabilizovaným obsahom dusíka (12 mil. eur), ale aj o aplikáciu nitrifikačných inhibítorov (3,6 mil. eur). Využitie hnoja ako náhrady za priemyselne vyrobené hnojivá sa aplikuje v oboch scenároch v rovnakej miere.

Graf 188: Čisté úspory scenára WAM oproti WEM v poľnohospodárstve (v mil. EUR (2023))



Zdroj: IEP

Tabuľka 19: Rozdiel ročných nákladov scenára WAM oproti WEM v poľnohospodárstve (v mil. EUR (2023))[81]

Opatrenie	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Hovädzí dobytok mliečny						
Zvýšenie dlhovekosti dobytka	–	–	−100,9	−100,9	−100,9	−100,9
Využitie sexovaného semena a kríženie plemien	–	−6,1	−10,1	−10,1	−10,1	−10,1
Zvýšenie podielu tukov v kŕmnej dávke	–	–	–	0,6	1,4	1,4
Použitie koncentrátu v kŕmnej dávke	–	–	3,9	6,5	6,5	6,5
Zvýšenie kvality krmiva a jeho manažmentu	–	–	–	–	–	–
Nitráty	–	0,3	–	–	–	–
3-Nitrooxypropanol	–	5,5	13,8	13,8	13,8	13,8
Nízkoemisné ustajnenie	–	–	−12,0	−12,0	−12,0	−12,0
Neutralizácia metánu pomocou zariadenia typu ZELP	–	–	2,3	2,3	2,3	2,3
Denné čistenie hnoja	–	–	1,4	1,3	1,1	1,1
Anaeróbna digescia	–	–	0,0	0,0	0,0	0,0
Úschova a zakrytie hnoja a kalu	–	–	–	–	0,0	0,1
Hovädzí dobytok mäsový						
Zlepšenie prírastkov mäsa	–	–	−5,5	−5,5	−5,5	−5,5
Zvýšenie dlhovekosti dobytka	–	–	–	−34,1	−34,1	−34,1
Zlepšenie geneticky prenosných čŕt za účelom zvýšenia produkcie	–	–	−31,1	−31,1	−31,1	−31,1
Nitráty	–	–	–	0,3	0,2	0,0
3-Nitrooxypropanol	–	–	–	–	20,7	34,5
Aminokyseliny	–	–	–	0,2	–	–
Zvýšenie podielu nenasýtených tukov v kŕmnej dávke	–	–	–	0,7	1,7	1,7
Zvýšenie kvality krmiva a jeho manažmentu	–	–	–	–	–	–
Optimálne vyváženie kŕmnej dávky	–	–	–	–	–	–
Neutralizácia metánu pomocou zariadenia typu ZELP	–	–	5,1	5,1	5,1	5,1
Anaeróbna digescia	–	–	–	–	–	–
Ovce						
Zvýšenie dlhovekosti oviec	–	−1,3	−2,2	−2,2	−2,2	−2,2

[81] Záporné hodnoty znamenajú úspory scenára WAM

Využitie sexovaného semena a kríženie plemien	–	–6,0	–10,1	–10,1	–10,1	–10,1
Zvýšenie kvality krmiva a jeho manažmentu	–	–	–	–	–	–
Ošípané						
Denné čistenie hnoja	–	–	–	–	–	–
Anaeróbna digescia	–	–	–	–	–	–
Ostatné (hydina)						
Zníženie podielu bielkovín v kŕmnej dávke	–	–	–	–	–	–
Denné čistenie hnoja	–	–	–	–	–	–
Anaeróbna digescia	–	–	–	–	–	–
Rastlinná výroba						
Precízne poľnohospodárske techniky	–	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
Nitrifikačné inhibítory	1,4	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
Náhrada močoviny za hnojivo so stabilizovaným obsahom dusíka	–	2,4	12,0	12,0	12,0	12,0
Využívanie hnoja (ovčí, hydinový, kozí)	–	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
Celkové náklady	1,4	3,7	–124,5	–154,6	–132,5	–118,9

Zdroj: IEP

7 Príloha

7.1 Výsledky scenára SWAM

Superambicózny scenár (SWAM) je scenár s veľmi ambicióznymi opatreniami, ktorý sa približuje splneniu navrhovaných cieľov Európskej Komisie (EK) pre rok 2030. Emisné ciele sa podarí naplniť už scenáru WAM, naproti tomu ciele v podiele obnoviteľných zdrojov energií (OZE) a energetickej efektívnosti (EE), či európska regulácia ohľadom LULUCF sa v scenári WAM nedosiahne. Scenár SWAM bol vypracovaný ako modelový príklad krokov potrebných na dosiahnutie cieľov Európskej komisie do roku 2030. **Predpokladá ich naplnenie prostredníctvom rozsiahlej integrácie obnoviteľných zdrojov energie, predovšetkým solárnych a veterných elektrární, systematického zvyšovania energetickej efektívnosti, urýchleného rozvoja elektromobility a obmedzenia ťažby drevnej biomasy.**

Pre demonštráciu toho, čo by bolo potrebné na dosiahnutie cieľov EK v roku 2030, bol pripravený aj scenár SWAM. **Ciele dosahuje nielen vďaka vysokej miere inštalácií obnoviteľných zdrojov (slnko a vietor), ale aj pomocou plošných opatrení na zvýšenie energetickej efektívnosti, okamžitého nábehu elektromobility a zníženia ťažby dreva.**

Tabuľka 20: Plnenie cieľov pre rok 2030 v scenári SWAM

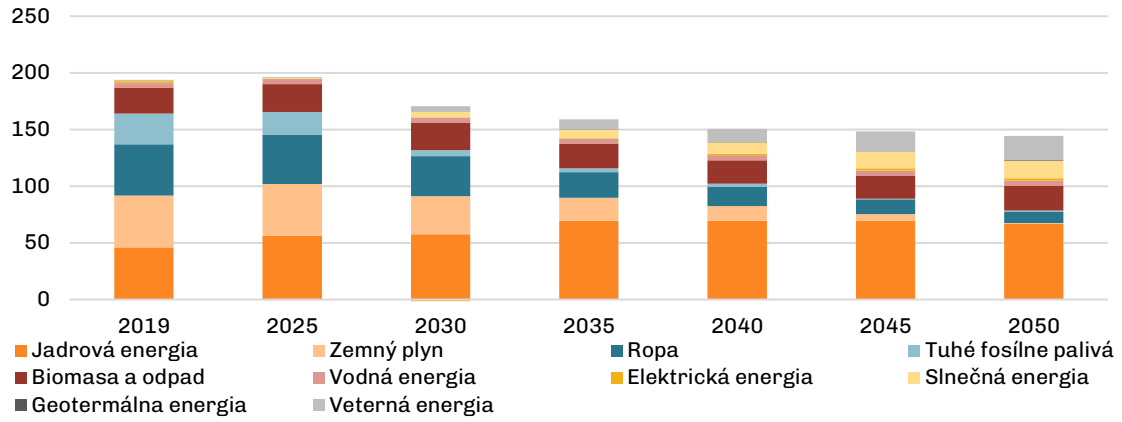
Názov cieľa	Cieľ	Referenčná hodnota	Cieľová hodnota	SWAM (2030)	Zmena
Celkové GHG	–55 % oproti roku 1990	64 475 kt	29 014 kt	16 313 kt	–74,7 %
ETS	–62 % oproti roku 2005	25 232 kt	9 588 kt	9 726 kt	61,5 %
ESR GHG	–22,7 % oproti roku 2005	21 137 kt	17 885 kt	12 545 kt	–45,8 %
LULUCF	–504 kt CO_2 oproti priemeru rokov 2016 až 2018	–5 435 kt[82]	–5 939 kt	–5 939 kt	– 504 kt
OZE	35 % v roku 2030			35 %	
OZE v doprave	29 % v roku 2030			32,6 %	
Konečná energetická spotreba	99,9 TWh			100,4 TWh	
Primárna energetická spotreba	162,1 TWh			169,2 TWh	

Zdroj: IEP podľa CPS

V scenári SWAM v roku 2030 klesne využitie zemného plynu (–26 %) a ropy (–22 %) oproti referenčnému roku 2019. Tento pokles je zapríčinený najmä výraznou mierou elektrifikácie dopravy aj vykurovania (hlavne tepelné čerpadlá) a aplikáciou opatrení na zvyšovanie energetickej efektívnosti.

[82] Hodnota zodpovedá priemeru rokov 2016 až 2018 v emisnej inventúre z roku 2023, na základe ktorej sa robili projekcie záchytov.

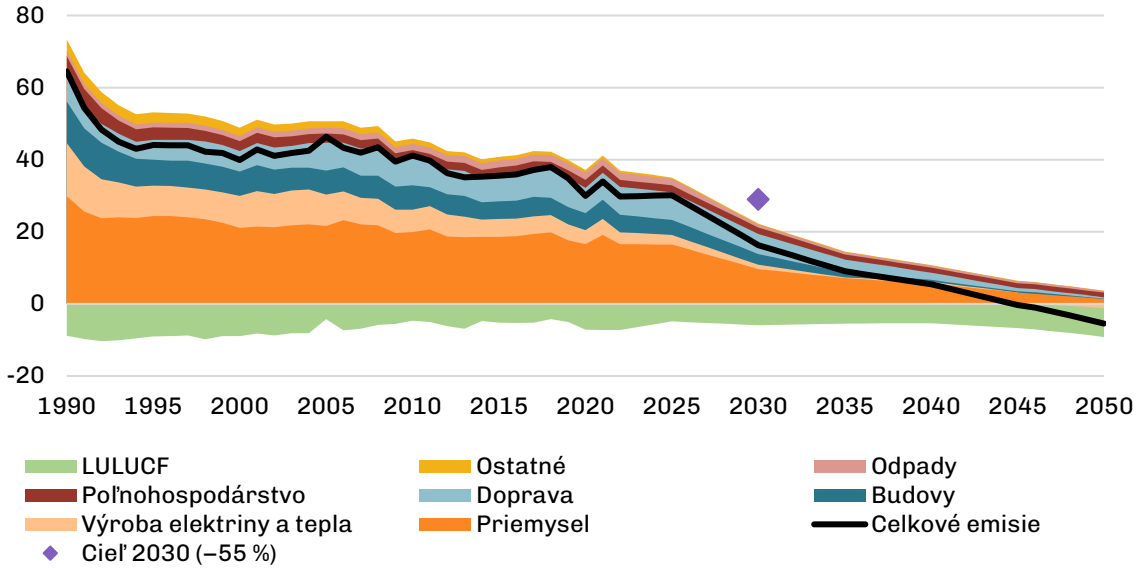
Graf 189: Primárna energetická spotreba SR (SWAM, v GWh)



Zdroj: IEP podľa CPS

Podľa scenára SWAM sa očakáva, že celkové emisie budú v roku 2030 približne o 12 700 kt CO_2 ekv. nižšie ako je cieľ EK. V porovnaní so scenárom WAM ide o dodatočný úbytok 5 700 kt CO_2 ekv. emisií v roku 2030.

Graf 190: Emisie skleníkových plynov SR (SWAM, v Mt CO_2 ekv.)



Zdroj: IEP podľa CPS

Vo výrobe elektriny scenár SWAM v roku 2030 očakáva inštalovaný výkon vetra 2 553 MW a slnka 3 839 MW. V prípade vetra sa jedná o nové zdroje veternej energie, nakoľko v roku 2019 boli inštalované len 3 MW. Scenár WAM očakáva inštalovaný výkon vetra na úrovni 738 MW a slnka na úrovni 1 537 MW.

Scenár SWAM očakáva výrazný nárast podielu tepla vyprodukovaného tepelnými čerpadlami pri vykurovaní domácností aj služieb. V roku 2019 tvorila užitočná energia z tepelných čerpadiel 3,4 % celkového tepla v domácnostiach a 2,4 % v službách. Do roku 2030 sa podľa tohto scenára očakáva zvýšenie na 27,9 % v domácnostiach a 22,3 % v službách. Scenár WAM očakáva podiel 10,8 % v oboch sektoroch. Zvýšené využívanie tepelných čerpadiel v scenári SWAM prispieva k poklesu spotreby zemného plynu o 38 % v domácnostiach a o 9,7 % v službách.

Takto rýchla inštalácia tepelných čerpadiel, ako aj realizácia opatrení na zvyšovanie energetickej efektívnosti (napríklad zatepľovanie), môže predstavovať výzvu z hľadiska ich dostupnosti na slovenskom trhu. Otázny je zároveň aj dostatok kvalifikovanej pracovnej sily potrebnej na ich implementáciu. Keďže podobné technológie budú

pravdepodobne podporované aj v ostatných krajinách EÚ, môže dôjsť k ich nedostatku na trhu alebo k nárastu cien.

Dosiahnutie scenáru SWAM vyžaduje nárast počtu elektrických osobných vozidiel o 117 154 ročne. To znamná, že 87 % nových vozidiel do roku 2030 musí byť elektrických.

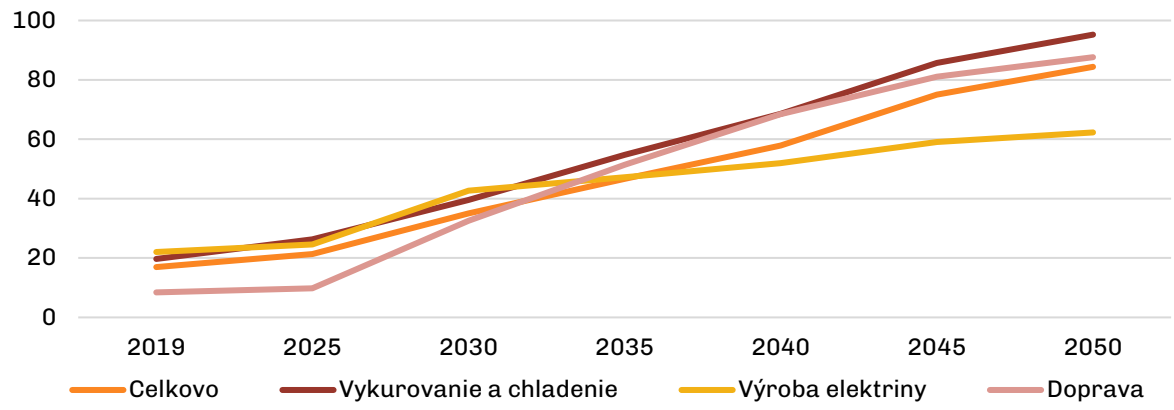
Tabuľka 21: Počet vozidiel s batériovým elektrickým pohonom

Typ vozidla	2023	2030 (WAM)	2030 (SWAM)
Osobné vozidlo	9 631	194 742	829 715
Ľahké úžitkové vozidlo	638	21 164	44 788
Ťažké úžitkové vozidlo	15	9 890*	10 492*
Autobus	55	2 748	2 886

**model vychádza z kalibrácie na rok 2019, kedy bol počet nulový* *Zdroj: PZ SR, IEP podľa CPS*

Cieľ európskej regulácie o LULUCF je nárast záchytov v roku 2030 o 504 kt CO_2 v porovnaní s priemerom rokov 2016 až 2018. Dosiahnutie cieľa záchytov v roku 2030 by vyžadovalo okrem iného aj zníženie ťažby drevnej biomasy až o 10,5 %. Takéto zníženie je výrazným neplánovaným zásahom do hospodárskej činnosti lesov.

Graf 191: Podiel OZE v odvetviach výroby elektriny, vykurovania a chladenia a doprave (v %)



Zdroj: IEP podľa CPS

8.1 Zoznam opatrení

Tabuľka 22: Opatrenia v modeli CPS v scenári WEM

Opatrenie	Sektor	Poznámka
Ukončenie využívania hnedého uhlia	Všetky sektory spotreby	
Navýšenie ceny EU ETS (v menšej miere)	Energetika / Priemysel	Tabuľka 11,Tabuľka 12
Emisné normy pre vozidlá (osobné, LDV, HDV) podľa EÚ 2019/631 a 2019/1242	Doprava	
Navýšenie zložky biopalív v palivách podľa zákona č.309/2009	Doprava	
Pokračovanie výroby primárneho hliníka	Priemysel	Prostredníctvom zachovania sektorovej aktivity. Tabuľka 10
Postupné znižovanie podielu bezodplatných emisných kvót	Priemysel	
Primiešavanie biomasy a odpadu v elektrárni Vojany & odstavenie do roku 2030	Energetika	
Predĺženie životnosti plynových elektrární do roku 2050	Energetika	
Postupné spúšťanie Mochovce 3 & 4 (2025 – 2030)	Energetika	
Predĺženie životnosti Mochovce 1 a 2 do roku 2055	Energetika	
Postupné nahrádzanie uhlia v CZT	Energetika	
Nahradenie elektrárne Jaslovské Bohunice v roku 2045 zdrojom s výkonom 1,2 GW	Energetika	
Uzavretie bane v Novákoch a vyradenie elektrárne v Novákoch do roku 2025	Energetika	
Rozvoj obnoviteľných zdrojov energie na základe NECP z roku 2019	Energetika	
Výroba tepla z geotermálnej energie (30 MW v 2030, 90 MW v 2035)	Energetika	
Podpora energeticky efektívnejších zariadení na varenie, ohrev vody a vykurovanie (napr. prostredníctvom označení energetickej triedy a pod., nejde o finančnú podporu)	Budovy	

Tabuľka 23: Opatrenia v modeli CPS v scenári WAM

Opatrenie	Sektor	Poznámka
Ukončenie využívania hnedého uhlia	Všetky sektory spotreby	

Postupné nahradenie zemného plynu prostredníctvom zamiešavania bezemisných plynných palív (od 2035)	Všetky sektory spotreby	
Navýšenie ceny EU ETS (vo vyššej miere)	Energetika / Priemysel	Tabuľka 12
Zavedenie EU ETS 2 v sektoroch dopravy a budov a postupné navyšovanie ceny	Doprava / Budovy	Tabuľka 14
Prísnejšie emisné normy pre vozidlá – EÚ 2023/851 a 2024/1610	Doprava	
Navýšenie zložky biopalív v palivách podľa novely zákona č.309/2009 z roku 2023	Doprava	
Primiešavanie bio a syntetického kerozínu do leteckých palív (na základe ReFUEL EU)	Doprava	
Podpora rozvoja elektromobility (na základe Akčného plánu rozvoja elektromobility a smernice AFIR)	Doprava	Modelovaná je podpora v rozsahu 77 mil. EUR (2023) v roku 2025 prostredníctvom dotácii.
Mierny presun aktivity z individuálnej do hromadnej osobnej dopravy	Doprava	Približne o 5,5 % menej využívania osobných vozidiel oproti scenáru WEM. Viac v Graf 82.
Zvýšenie podielu využívania elektrickej energie pre plug-in hybridné vozidlá	Doprava	
Skoršie vyraďovanie vozidiel so spaľovacím pohonom od roku 2045	Doprava	
Pokračovanie výroby primárneho hliníka	Priemysel	Prostredníctvom zachovania sektorovej aktivity. Tabuľka 10
Výmena dvoch vysokých pecí za elektrické oblúkové pece v oceliarskom priemysle spojená s ukončením výroby koksu	Priemysel	Umožní prechod na spracovanie kovového odpadu namiesto spracovania železnej rudy.
Zníženie a neskoršie zrušenie bezodplatných emisných kvót	Priemysel	Časť emisných kvót je udeľovaná podnikom bezodplatne. Postupné zníženie a ukončenie tejto podpory vyvinie tlak na podinky pri dekarbonizácii. Modelovanie očakáva 20 % kvót udelených bezodplatne do roku 2025. Od roku 2030 nie sú bezodplatné kvóty.
Navýšenie využitia tuhých alternatívnych palív vo výrobe cementu	Priemysel	
Zavedenie tzv. *best available techniques*	Priemysel	
Podpora vyššej energetickej efektívnosti (prostredníctvom zavedenia vyšších cieľov pre zachytávanie odpadového tepla)	Priemysel	
Priama redukcia železa ako náhrada tretej vysokej pece od roku 2045	Priemysel	Využitie vodíka v procese namiesto koksu. Viac v Box 18.
Využitie umelých záchytov na zachytávanie procesných emisií	Priemysel	

Podpora zvyšovania energetickej efektívnosti rodinných domov prostredníctvom programu Obnov dom	Budovy	
Uplatnenie smernice o energetickej hospodárnosti budov a revidovanej smernice o energetickej efektívnosti prostredníctvom striktnejších cieľov pre verejné, rekonštruované a nové budovy	Budovy	
Podpora využívania efektívnejších vykurovacích technológií - tepelné čerpadlá	Budovy	Viac v Box 19
Úspornejšie technológie (LED) v osvetlení	Budovy	Viac v kapitole 5.4.2
Zvýšenie efektívnosti vykurovania prostredníctvom zemného plynu (kondenzačné kotly)	Budovy	Viac v kapitole 5.4.2
Podpora energeticky efektívnejších zariadení na varenie, ohrev vody a vykurovanie (napr. prostredníctvom označení energetickej triedy a pod., nejde o finančnú podporu)	Budovy	Viac v kapitole 5.4.2
Sprevádzkovanie nového malého modulárneho reaktora s výkonom 300 MW v roku 2035	Energetika	
Zníženie produkcie palív z ropy v dôsledku zmien v doprave od roku 2035	Energetika / Priemysel	
Rozvoj obnoviteľných zdrojov energie, vrátane zapojenia batérií pre zabezpečenie krátkodobej úschovy elektrickej energie	Energetika	Viac v kapitole 5.1.2
Podpora výroby bioplynu	Energetika	
Primiešavanie biomasy a odpadu v elektrárni Vojany & odstavenie do roku 2030	Energetika	
Predĺženie životnosti plynových elektrární do roku 2050	Energetika	
Postupné spúšťanie Mochovce 3 & 4 (2025 – 2030)	Energetika	
Predĺženie životnosti Jaslovské Bohunice (do 2055)	Energetika	
Predĺženie životnosti Mochovce 1 a 2 do roku 2055	Energetika	
Postupné nahrádzanie uhlia v CZT vrátane zmien vo výrobe KVET pred rokom 2030	Energetika	
Nový jadrový zdroj s výkonom 1,2 GW od roku 2045	Energetika	
Uzavretie bane v Novákoch a vyradenie elektrárne v Novákoch do roku 2025	Energetika	
Výroba tepla z geotermálnej energie (30 MW v 2030, 90 MW v 2035)	Energetika	

Podpora výroby elektrickej energie z biomasy s využitím umelého zachytávania emisií	Energetika	

Tabuľka 24: Opatrenia v poľnohospodárskom modeli v scenári WEM

Opatrenie	Druh výroby	Úspora emisií [kg/hlavu]	Poznámka
Zvýšenie kvality krmiva a jeho manažmentu	HD mliečny HD mäsový Ovce	32,7-260 17,3-99,4 1,44	Znižuje množstvo fermentácie a metánu.
Aminokyseliny	HD mliečny	27,9	Kŕmne aditívum, ktoré znižuje množstvo fermentovaného metánu.
Denné čistenie hnoja	HD mliečny Ošípané Hydina	89,1 3,6 0,03	Zníži množstvo oxidácie a tým aj GHG.
Anaeróbna digescia	HD mliečny HD mäsový Ošípané Hydina	27,9 8,9 3,6 0,03	Zníženie emisii z hnojného manažmentu s potenciálom výroby biometánu.
Optimálne vyváženie kŕmnej dávky	HD mäsový	35,5	Znižuje množstvo fermentovaného metánu.
Zníženie podielu bielkovín v kŕmnej dávke	Hydina	0,009	Zníženie podielu bielkovín znižuje množstvo vylúčeného dusíka v hnoji a močovine a teda menej emisii N_2O.
Využívanie hnoja	Rastlinná výroba	141,6 [kg /ha]	Hnoj ako hnojivo znižuje potrebu hnojenia čpavkom čím sa znižujú emisie N_2O.

Tabuľka 25: Opatrenia v poľnohospodárskom modeli v scenári WAM

Opatrenie	Druh výroby	Úspora emisií [kg/hlavu]	Poznámka
Zvýšenie dlhovekosti	HD mliečny HD mäsový ovce	178,3 42,6 0,65	Zvýšenie dlhovekosti prispieva k množstvu mláďat na matku a navýši dĺžku dojého obdobia.
Využitie sexovaného semena a kríženie plemien	HD mliečny ovce	148,57 0,83	Zvýši podiel samičích mláďat. Dotatočný potenciál pri krížení druhov.
Zvýšenie podielu tukov v kŕmnej dávke	HD mliečny HD mäsový	32,7 17,3	Zvýšenie množstva tukov znižuje množstvo fermentovaného metánu z uhľohydrátov.
	HD mliečny	260	Navýši vstrebateľnosť stravy.

Použitie koncentrátu v kŕmnej dávke	HD mäsový	46,2	
Zvýšenie kvality krmiva a jeho manažmentu	HD mliečny HD mäsový ovce	252,6 99,4 1,44	Navýši vstrebateľnosť stravy.
Nitráty	HD mliečny HD mäsový	133,7 5,32	Kŕmne aditívum, ktoré znižuje množstvo fermentovaného metánu.
3-Nitrooxy- propanol	HD mliečny HD mäsový	668,6 355	Kŕmne aditívum, ktoré znižuje množstvo fermentovaného metánu.
Nízkoemisné ustajnenie	HD mliečny	334,3	Hnoj a močovina z ustajnenia rýchlejšie schne čo znižuje emisie NH_3 a následne GHG.
Neutralizácia metánu pomocou zariadenia typu ZELP	HD mliečny HD mäsový	984,3 470,3	Zariadenia neutralizáciu metánu priamo pri dýchacích cestách zvieraťa.
Denné čistenie hnoja	HD mliečny ošípané hydina	69,1 3,6 0,03	Zníži množstvo oxidácie a tým aj GHG.
Anaeróbna digescia	HD mliečny HD mäsový ošípané hydina	27,9 8,9 3,6 0,04	Zníženie emisii z hnojného manažmentu s potenciálom výroby biometánu.
Úschova a zakrytie hnoja a kalu	HD mliečny	27,9	Zamedzenie oxidácie a produkcie GHG.
Zlepšenie prírastkov mäsa	HD mäsový	71	Zníženie množstva krmiva a emisii na produkciu.
Zlepšenie geneticky prenosných čŕt za účelom zvýšenia produkcie	HD mäsový	142	Zníženie množstva krmiva a emisii na produkciu.
Aminokyseliny	HD mliečny HD mäsový	27,9 5,32	Kŕmne aditívum, ktoré znižuje množstvo fermentovaného metánu.
Optimálne vyváženie kŕmnej dávky	HD mäsový	35,5	Znižuje množstvo fermentovaného metánu.
Zníženie podielu bielkovín v kŕmnej dávke	Hydina	0,009	Zníženie podielu bielkovín znižuje množstvo vylúčeného dusíka v hnoji a močovine a teda menej emisii N_2O.
Opatrenie	**Druh výroby**	**Úspora emisií [kg/ha]**	**Poznámka**

Precízne poľnohospodárske techniky	Rastlinná výroba	161,3	Moderné postupy využívajúce GPS, senzory a dáta na presné dávkovanie vody, hnojív a pesticídov s cieľom zvýšiť úrodu a šetriť zdroje.
Nitrifikačné inhibítory	Rastlinná výroba	130,5	Spomaľujú transformáciu čpavku na N_2O. Znižujú straty dusíka.
Náhrada močoviny za hnojivo so stabilizovaným obsahom dusíka	Rastlinná výroba	106,2	Zlepšuje efektivitu využívania dusíka.
Využívanie hnoja	Rastlinná výroba	141,6	Hnoj ako hnojivo znižuje potrebu hnojenia čpavkom čím sa znižujú emisie N_2O.

Tabuľka 26: Opatrenia v LULUCF v scenári WAM

Opatrenie	Sektor	Úspora emisií [t/ha]	Poznámka
Rozšírenie ochrany a konzervácia starých a prírodných lesov	Lesy a lesná pôda	6,3	Poskytuje možnosť lesov plne využiť potenciál záchtov.
Úprava miery obnovy lesa na základe realizovanej ťažby	Lesy a lesná pôda	6,3	Realizovaná obnova bola historicky nižšia ako plánovaná. Zníženie obnovy zvýši mieru záchytov.
Hlúčiková výsadba lesov	Lesy a lesná pôda	1,2	Zlepšuje odolnosť lesa a zvyšuje mieru záchytov.
Prírode blízke hospodárenie v lesoch	Lesy a lesná pôda	1,95	Zlepšuje odolnosť lesa a zvyšuje mieru záchytov.
Konverzia ornej pôdy na pasienky	Orná pôda	2,72	Pasienky zachytávajú viac GHG ako orná pôda.
Manažment zvyškov plodín (CRM)	Orná pôda	1,25	Plytšia orba zlepšuje zachytávanie v pôde a znižuje následné úniky späť do atmosféry.
Zlepšenie rotácie plodín	Orná pôda	0,62	Zlepšuje kvalitu pôdy a optimalizuje živiny prítomné v pôde, čo znižuje potrebu hnojenia.
Zakrývanie plodín	Orná pôda	1,17	Znižujú eróziu a zlepšujú kvalitu pôdy.
Agrolesnícke systémy	Orná pôda, pasienky	5,4	Zlepšuje mieru záchytov v pôde, znižuje eróziu a vytáva vetrolamy.
Konverzia ornej pôdy na lesnú pôdu	Orná pôda	12,83	Biele plochy už v súčasnosti predstavujú veľký záchyt, ktorý nie je evidovaný.
Zmeny v pasení	Pasienky	1,03	Znižujú eróziu a zvyšujú záchyty.

Výsadba strukovín	Pasienky	0,48	Zlepšujú manažment dusíka a znižujú emisie N_2O
Konverzia pasienku na lesnú pôdu	Pasienky	10,1	Biele plochy už v súčasnosti predstavujú veľký záchyt, ktorý nie je evidovaný.
Obnova mokradí a rašelinísk	Mokrade a rašeliniská	2,75	Prispieva k záchytom.
Znovuvytvorenie mokradí a rašelinísk	Mokrade a rašeliniská	2,75	Väčšina rašelinísk a mokradí na Slovensku bola vysušená, obnova týchto plôch prispeje k záchtom GHG.
Výstavba drevodomov	Výrobky z dreva	52 [t/dom]	Drevené výrobky zachytávajú uhlík na dlhé obdobia.

Tabuľka 27: Opatrenia v sektore odpadov v modeli CPS v scenári WEM

Opatrenie	Sektor	Poznámka
Oddelený zber biologického odpadu	Odpadové hospodárstvo	Znižuje množstvo metánu a zlepšuje využiteľnosť biologicky rozložiteľného odpadu na iné účely ako hnojenie.
Oddelený zber textilu	Odpadové hospodárstvo	Zlepšuje mieru recyklácie textilu a znižuje emisie z výroby textilu
Energetické zhodnotenie odpadu	Odpadové hospodárstvo	Odpadu spracovaný v ZEVO uvoľnuje CO_2 namiesto CH_4 (zo skládok)
Mechanicko-biologická úprava odpadu	Odpadové hospodárstvo	Znižuje mieru skládkovania biologického odpadu.

Tabuľka 28: Opatrenia v sektore odpadov v modeli CPS v scenári WAM

Opatrenie	Sektor	Poznámka
Oddelený zber biologického odpadu	Odpadové hospodárstvo	Znižuje množstvo metánu a zlepšuje využiteľnosť biologicky rozložiteľného odpadu na iné účely ako hnojenie.
Oddelený zber textilu	Odpadové hospodárstvo	Zlepšuje mieru recyklácie textilu a znižuje emisie z výroby textilu
Energetické zhodnotenie odpadu	Odpadové hospodárstvo	Odpadu spracovaný v ZEVO uvoľnuje CO_2 namiesto CH_4 (zo skládok)
Mechanicko-biologická úprava odpadu	Odpadové hospodárstvo	Znižuje mieru skládkovania biologického odpadu.
Množstvový zber	Odpadové hospodárstvo	Znižuje mieru produkcie odpadu.
Zachytávanie skládkového plynu	Odpadové hospodárstvo	Záchyt a využitie CH_4 zo skládok.

8.2 Zoznam predpokladov

Tabuľka 9: Predpoklady referenčných hodnôt základných makroekonomických ukazovateľov do roku 2050

Makroekonomický ukazovateľ	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Populácia (v mil. obyv.)	5,45	5,49	5,41	5,35	5,28	5,20	5,11
HDP (v mld. 2023 EUR)	124,7	135,8	150,5	163,3	174,3	184,6	194,1

Zdroj: Eurostat, DG ECFIN

Tabuľka 10: Hodnoty dát aktivity pre vybrané sektory a odvetvia

Oblasť	Jednotka	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Oceliarsky priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	1,08	1,39	1,37	1,39	1,4	1,41	1,42
Výroba hliníka a zliatin	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	0,34	0,43	0,44	0,47	0,48	0,48	0,48
Chemický a petrochemický priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	1,08	1,08	1,13	1,19	1,25	1,30	1,33
Stavebný priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	1,15	1,17	1,27	1,37	1,46	1,53	1,58
Papierenský priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	0,69	0,68	0,74	0,81	0,89	0,96	1,01
Potravinársky priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	1,39	1,69	1,86	2,06	2,24	2,36	2,43
Strojársky a automobilový priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	13,2	15,3	17,8	19,5	20,9	22,3	23,6
Textilný priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	1,11	0,92	0,89	0,85	0,77	0,66	0,58
Ostatný priemysel	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	4,98	4,17	4,54	4,92	5,22	5,52	5,80
Služby	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	71,8	78,7	87,4	94,7	101,4	107,8	113,8
Poľnohospodárstvo	pridaná hodnota (v mld. EUR (2023))	2,32	2,45	2,60	2,74	2,82	2,81	2,79
Domácnosti	populácia (v mil. obyv.)	5,45	5,49	5,41	5,35	5,28	5,2	5,12
Osobná doprava	osobokilometre (v mld.)	48,3	52,2	58,2	62,2	64,9	66,6	67,6

Zdroj: GEM-E3-SK

Tabuľka 11: Predpokladaná cena komoditných palív (v 2023 eur na MWh)

Palivo	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Čierne uhlie	8,8	13,5	13,7	13,8	14,7	15,4	16,1
Ropa	44,5	67,9	67,9	67,9	71,8	77,8	86,9
Zemný plyn	17,9	58,4	49,9	49,9	49,9	49,9	52,2

Zdroj: British Petrol, Netherlands TTF

Tabuľka 12: Predpokladaná cena kvóty ETS podľa scenára (v EUR (2023))

Scenár	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
WEM	35	122	134	151	167	188	209
WAM	35	122	167	247	327	407	487
SWAM	35	122	236	299	362	424	487

Zdroj: IEP podľa EK

Tabuľka 13: Maximálny aplikačný potenciál vybraných opatrení v scenároch WEM a WAM (v %)

Kategória	Názov opatrenia	WEM	WAM
HD* - mliečny	Zlepšenie dlhovekosti dobytka	0	80
HD* - mliečny	Pridanie aminokyselín ako aditíva do kŕmnej dávky	25	50
HD* - mäsový	Nahradenie uhľohydrátov v kŕmnej dávke nenasýtenými tukmi	65	65
Hydina	Denné odstraňovanie trusu	8	80
Ošípané	Anaeróbna digescia hnoja pre produkciu bioplynu	80	80
Pôda	Precízne poľnohospodárske techniky	0	48

**Hovädzí dobytok*

Tabuľka 14: Predpokladaná cena emisných kvót ETS2 podľa scenára (v 2023 eur)

Scenár	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
WEM	-	-	-	-	-	-	-
WAM	-	-	59,2	97,4	139,2	181,0	222,7
SWAM	-	-	97,3	142,5	187,7	232,9	278,1

Zdroj: IEP podľa EK

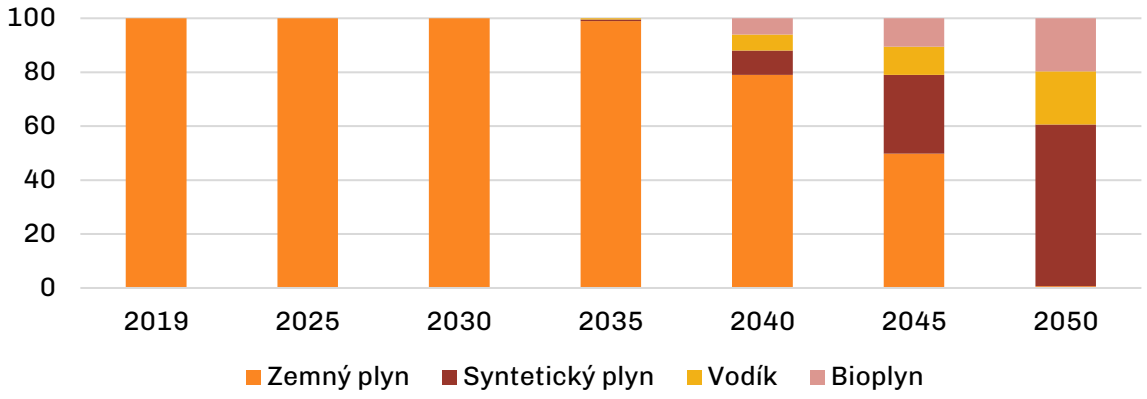
Tabuľka 15: Podiely bio- a syntetických palív v doprave v scenároch WEM a WAM (v %)

Scenár	Palivo	2019	2025	2030
WEM	konvenčné biopalivo (nafta)	7*	7,45	7,45
WEM	konvenčné biopalivo (benzín)	3,5*	7,45	7,45
WEM	pokročilé biopalivo (nafta)	0	0,75	0,75
WEM	pokročilé biopalivo (benzín)	0	0,75	0,75
WEM	biometán (zemný plyn)	0	0	0
WEM	pokročilé biopalivo (kerozín)	0	0	0
WEM	syntetické biopalivo (kerozín)	0	0	0
WAM	konvenčné biopalivo (nafta)	7*	8,7	9,3
WAM	konvenčné biopalivo (benzín)	3,5*	8,7	9,3
WAM	pokročilé biopalivo (nafta)	0	0,5	2,1
WAM	pokročilé biopalivo (benzín)	0	0,5	2,1

WAM	biometán (zemný plyn)	0	4	14
WAM	pokročilé biopalivo (kerozín)	0	2	4,8
WAM	syntetické biopalivo (kerozín)	0	0	1,2

**na základe údajov Eurostatu*
Zdroj: zákon č.309/2009 podľa účinnosti k 31.12.2021 (WEM), resp. 31.12.2023 (WAM)

Graf 8: Podiel jednotlivých zložiek plynovej potrubnej zmesi v scenári WAM (v %)



Zdroj: IEP podľa CPS

Tabuľka 16: Modernizácia teplárenstva

Tepláreň	Scenár	Popis
Zvolen	všetky	Ukončenie využívania lignitu, prechod na biomasu od roku 2025
Košice	WAM, SWAM	Prechod z uhlia na zemný plyn od roku 2025
Košice	všetky	Geotermálny zdroj (30 MW v 2025 – 2030, následne 90 MW)
Martin	všetky	Prechod na zemný plyn a biomasu od roku 2025
Žilina	WAM, SWAM	Prechod na zemný plyn, biomasu a odpad od roku 2030
Nováky	všetky	Od roku 2025 prechod na zemný plyn a obnoviteľné zdroje

Bibliografia

ASC Omega. (2022). *Review on CO2 Capture Using Amine-Functionalized Materials*. Dostupné na Internete: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c03385

EK. (2019). *European Green Deal*. Dostupné na Internete: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640

EK. (6. Február 2024). Impact assessment report - Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society.

Enviroportál. (2. Apríl 2025). *Posudzovanie vplyvov na životné prostredie (EIA/SEA)*. Dostupné na Internete: OSOBITNÝ ZÁSAH DO ZEMSKEJ KÔRY – TRVALÉ PODZEMNÉ ÚLOŽISKO OXIDU UHLIČITÉHO, CCS GOLIANOVO, zmena č.2: https://www.enviroportal.sk/eia/detail/osobitny-zasah-do-zemskej-kory-trvale-podzemne-ulozisko-oxidu-uhlicite

EPA. (2010). *Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for Biogenic Emissions from Selected Source Categories.* Dostupné na Internete: https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/greenhouse-gas-emissions-estimation-methodologies-biogenic

Eunomia. (2003). *Waste collection: To charge or not charge.* Dostupné na Internete: http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.massbalance.org/ContentPages/1159112417.pdf

Európska komisia. (2019). *European Green Deal*. Dostupné na Internete: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640

Európska komisia. (2023). *Commission Recommendation, Assessment (SWD) and Factsheet of the draft updated National Energy and Climate Plan of Slovakia*. Dostupné na Internete: https://commission.europa.eu/publications/commission-recommendation-assessment-swd-and-factsheet-draft-updated-national-energy-and-climate-3_en

Európska Komisia. (2023). *Commission Recommendation, Assessment (SWD) and Factsheet of the draft updated National Energy and Climate Plan of Slovakia*. Dostupné na Internete: https://commission.europa.eu/publications/commission-recommendation-assessment-swd-and-factsheet-draft-updated-national-energy-and-climate-3_en

Eurostat. (2025). *Complete Energy Balances*. Dostupné na Internete: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_bal_c/default/table?lang=en

Eurostat. (2025). *Populácia k 1. Januáru*. Dostupné na Internete: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tps00001/default/table?lang=en&category=t_demo.t_demo_pop

Eurostat. (2025). *Share of energy from renewable sources* . Dostupné na Internete: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ren__custom_15182942/default/table?lang=en

IEA. (2021). *Is carbon capture too expensive?* Dostupné na Internete: https://www.iea.org/commentaries/is-carbon-capture-too-expensive

IEA. (2. Apríl 2025). *Carbon Capture, Utilisation and Storage*. Dostupné na Internete: https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage

IEP. (2019). *Spravodlivé odpady: Analýza vplyvov zavedenia množstvového zberu na Slovensku.* Dostupné na Internete: https://www.minzp.sk/files/iep/spravodlive-odpady.pdf

IEP. (2023). *Ako von zo smetiska*. Dostupné na Internete: https://www.minzp.sk/iep/publikacie/ekonomicke-analyzy/

International Journal of Greenhouse Gas Control. (2021). *Towards improved cost evaluation of Carbon Capture and Storage from industry*. Dostupné na Internete: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1750583621000153

IPCC. (2014). *Climate Change 2014 Synthesis Report*. Dostupné na Internete: https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf

IPCC. (2018). *Global Warming of 1.5°C.* Dostupné na Internete: https://www.ipcc.ch/sr15/

IPCC. (2019). *Global Warming of 1.5°C.* Dostupné na Internete: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15_Full_Report_HR.pdf

IPCC. (2022). *Climate Change 2022 Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Dostupné na Internete: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf

IZC. (2025). Dostupné na Internete: https://emisie.icz.sk/verejne-informacie/eu-ets/#19a66dd5-d34c-4dba-9225-fb336faf197a

Kahn et al. (11. Október 2019). *Long-term macroeconomic effects of climate change: A cross-country analysis.* Dostupné na Internete: https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/10/11/Long-Term-Macroeconomic-Effects-of-Climate-Change-A-Cross-Country-Analysis-48691

Montagnaro, F. (2023). *Techno-economic assessment of a synthetic methane production process by hydrogenation of carbon dioxide from direct air capture*. Dostupné na Internete: https://www.iris.unina.it/handle/11588/948203

Prezídium Policajného zboru SR. (2024). *Celkový počet evidovaných vozidiel v SR*. Dostupné na Internete: https://www.minv.sk/?celkovy-pocet-evidovanych-vozidiel-v-sr

SEPS. (2022). *Mesačná správa ES SR za mesiac December 2022*. Dostupné na Internete: https://www.sepsas.sk/engine/wp-content/uploads/2025/04/Mesacna-sprava-ES-SR_12_2022_na_zverejnenie.pdf

SHMÚ. (2024). *National Inventory Document 2024*. Dostupné na Internete: https://unfccc.int/documents/644823

SHMÚ. (2025). *Národná inventarizačná správa*. Dostupné na Internete: https://oeab.shmu.sk/app/cmsSiteBoxAttachment.php?ID=345&cmsDataID=0

Statista. (2024). *Global atmospheric carbon dioxide concentration 1959-2024*. Dostupné na Internete: https://www.statista.com/statistics/1091926/atmospheric-concentration-of-co2-historic/

Štatistický úrad SR. (2024). *Množstvo komunálneho odpadu podľa podskupín odpadu (v tonách) [zp3001rr]*. Dostupné na Internete: https://datacube.statistics.sk/#!/view/sk/VBD_SK_WIN/zp3001rr/v_zp3001rr_00_00_00_sk

UNFCCC. (2015). *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change.* Dostupné na Internete: https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement

UNFCCC. (2022). *Nationally determined contributions under the Paris Agreement* . Dostupné na Internete: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2022_04.pdf

UNFCCC. (2024). *National Inventory Submissions 2024*. Dostupné na Internete: https://unfccc.int/ghg-inventories-annex-i-parties/2024

WHO. (12. Október 2023). Dostupné na Internete: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health

WMO. (2025). State of the Global Climate 2024.

WMO, C3S. (2023). *European State of the Climate 2023.* Dostupné na Internete: https://climate.copernicus.eu/esotc/2023