



Szén-dioxid kibocsátás-csökkentési lehetőségek és költségek a magyarországi lakossági szektorban

CENTER FOR CLIMATE CHANGE
AND SUSTAINABLE ENERGY POLICY



CENTRAL EUROPEAN UNIVERSITY



Aleksandra Novikova
Diana Üрге-Vorsatz

April 16, Szeged

Áttekintés

- ❖ Bevezetés
- ❖ A kutatás céljai és feladatai
- ❖ Módszertan
- ❖ Eredmények
 - ❖ Az alapforgatókönyvbeli energiafogyasztás és CO₂-kibocsátás előrejelzése
 - ❖ A hatékonyságnövelés és széndioxid-csökkentés kulcsfontosságú lehetőségei és egyéni CO₂-mérséklési potenciáljai valamint költségei
 - ❖ A CO₂ mérséklésének kínálati görbéje
- ❖ Következtetések



Bevezetés

❖ Kihívások

- ❖ Az energiatermelés és -fogyasztás fenntarthatatlan tendenciái
- ❖ A klímaváltozás veszélye
- ❖ Energiafüggőség, szociális problémák, stb.

❖ Megoldások

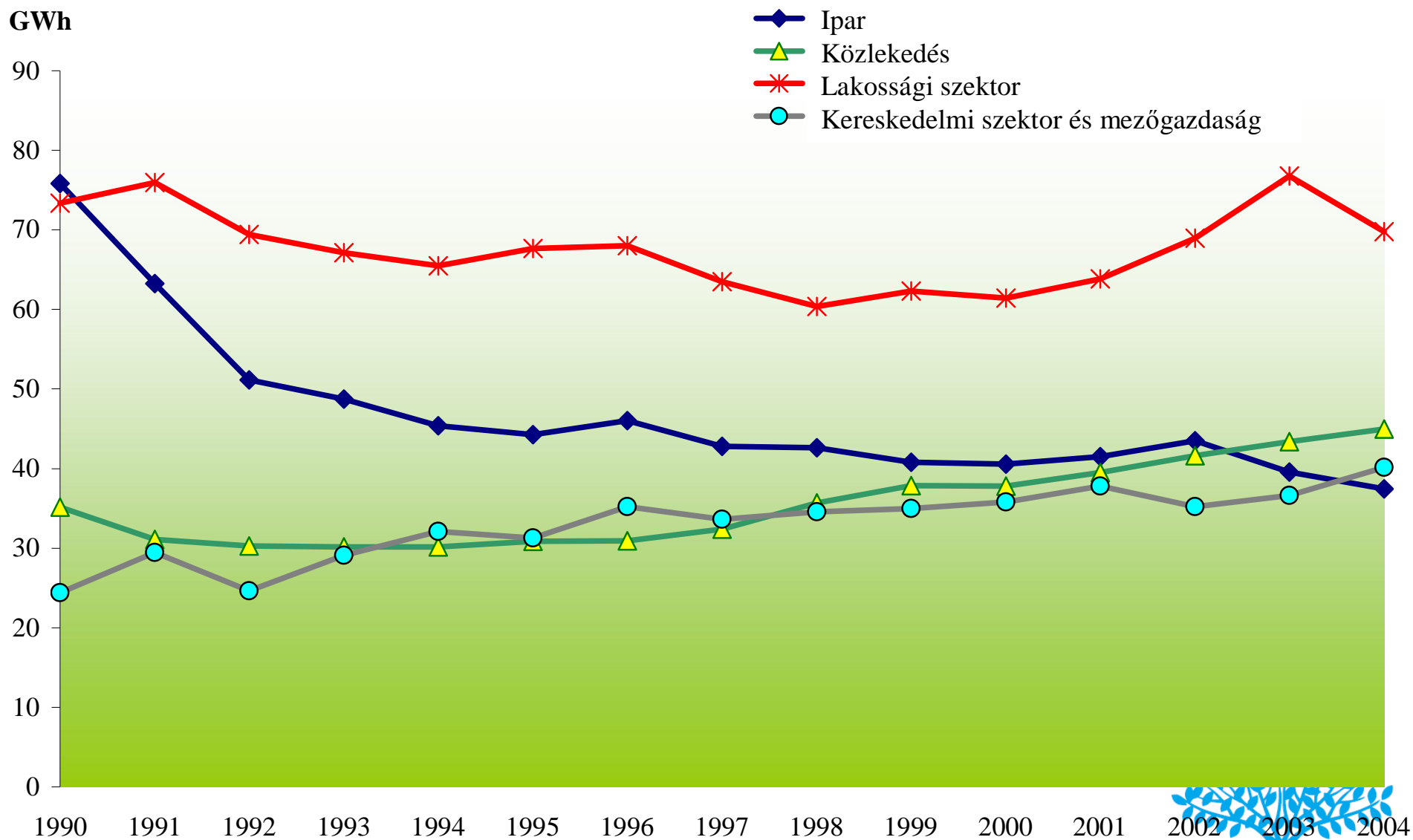
- ❖ Az energiahatékonyság az energetikai kihívások szinte mindegyikére a legköltséghatékonyabb válasz

❖ Politikai prioritások az energiahatékonyság és kibocsátáscsökkentés területén

- ❖ Az épületszektor, főleg a lakossági épületek
- ❖ A legnagyobb potenciál (az alapforgatókönyvhez képest) az átmeneti gazdaságokban található



A lakóépületek szerepe a kibocsátás-csökkentésben 1: a magyar energia-felhasználás szektorális dinamikája



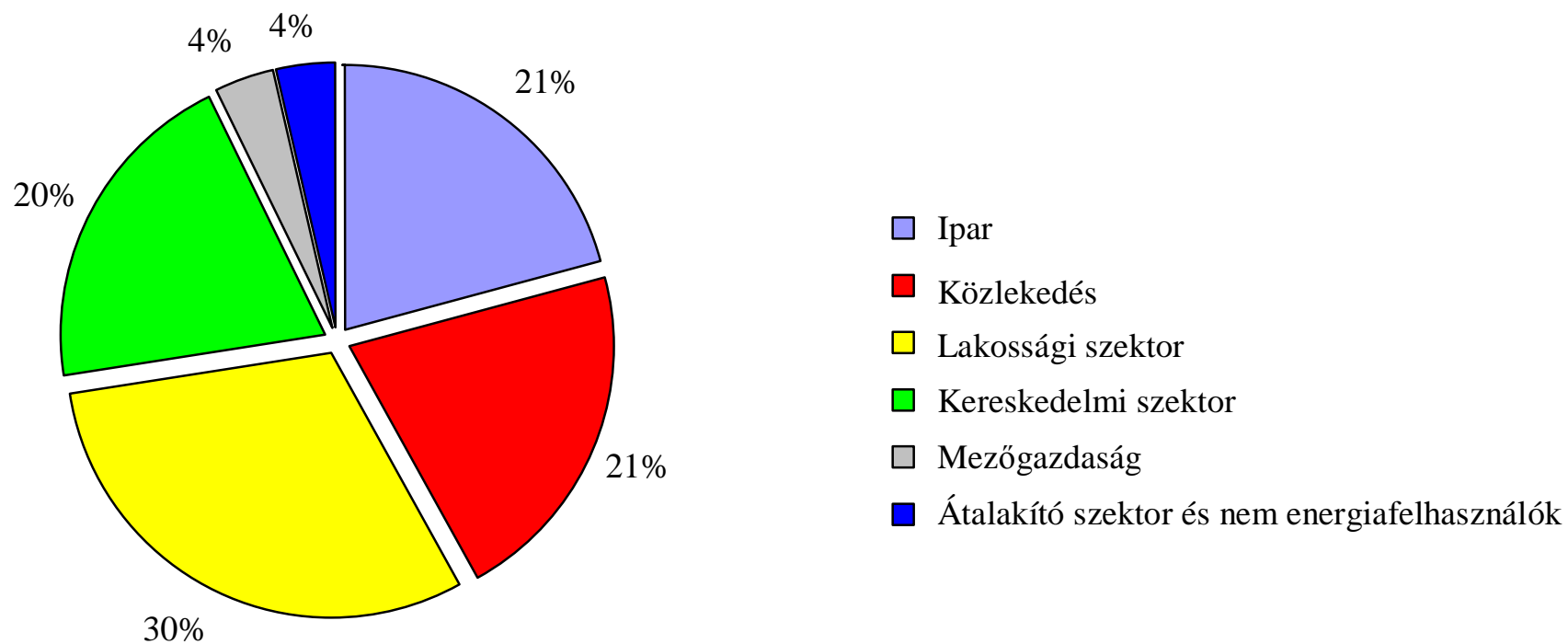
Forrás: az ODYSSEE (2007) alapján készült

3CSEP



A lakóépületek szerepe a kibocsátás-csökkentésben: a hazai CO₂-kibocsátás 30%-áért felelősek

CO₂-kibocsátás¹ osztályozása a magyarországi energia-végfelhasználók szerint 2004-ben



[1] A szektorok által felhasznált elektromos energiával kapcsolatos kibocsátásokat is beleértve.

Forrás: az ODYSSEE (2007) alapján készült

3CSEP

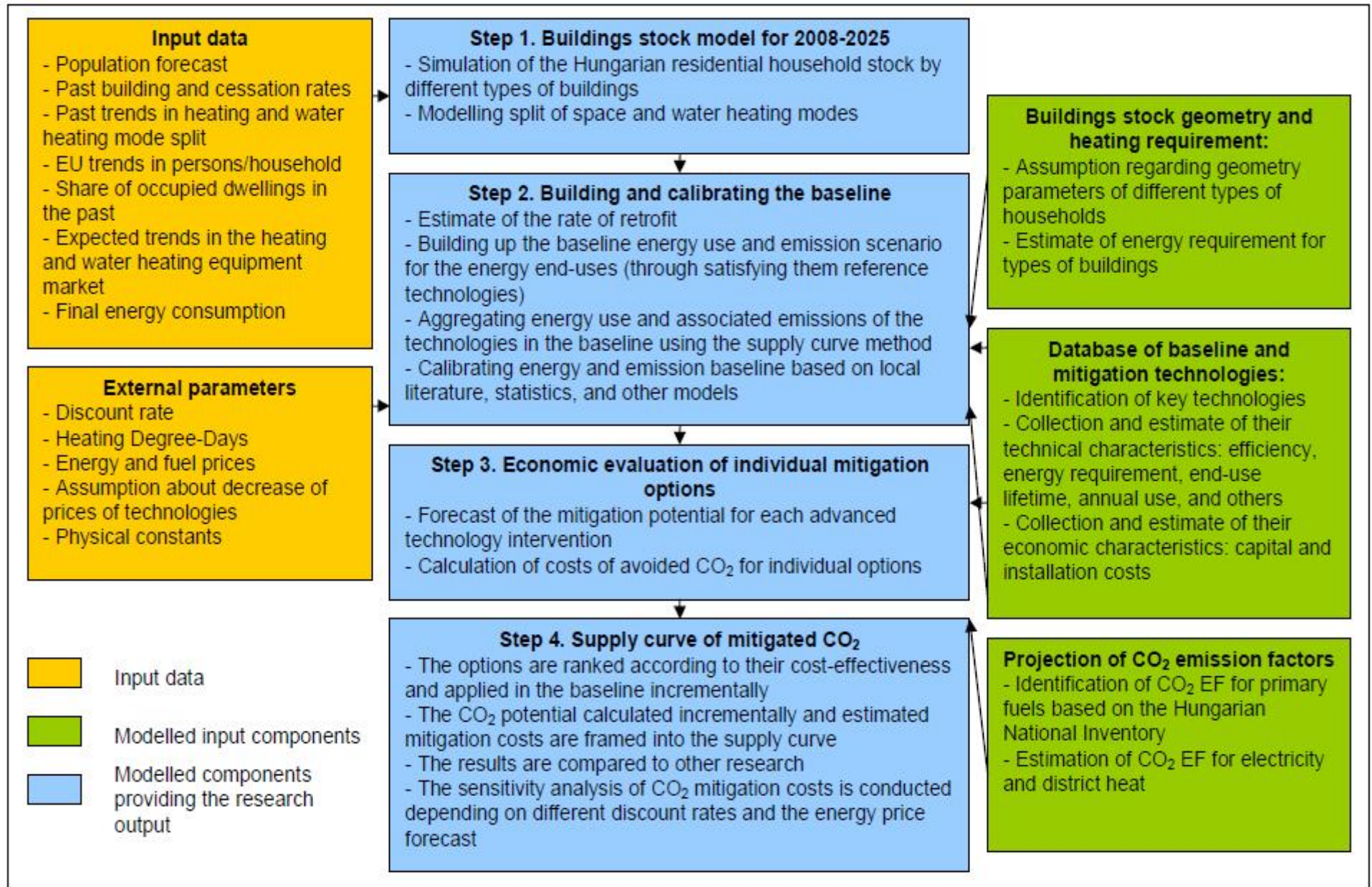


A kutatás céljai és feladatai

- ❖ A kutatás alapvető célja:
 - ❖ Tudományosan megalapozott szakpolitikák tervezése
- ❖ A kutatás céljai:
 - ❖ A CO₂ kibocsátás-csökkentési potenciál és ennek költségeinek megbecsülése
 - ❖ Fókuszban: energiahatékony technológiák és gyakorlatok + lehetőségek a fűtőanyag cseréjére az energiafelhasználás helyén
- ❖ A kutatás kérdései:
 - ❖ A magyar lakossági szektor alapforgatókönyvbeli CO₂-kibocsátása
 - ❖ Kulcstechnológiák a hatékonyságnövelés és széndioxid-csökkentés szempontjából
 - ❖ Az egyéni CO₂-méréselési lehetőségek potenciálja valamint költségei
 - ❖ A teljes CO₂-méréselési potenciál a CO₂-méréselési technológiák költségeinek függvényeként
- ❖ A kutatás feladata:
 - ❖ Egy modell kifejlesztése, amely lehetővé teszi a kutatási kérdések megválasztását a jelenleg elérhető adatok alapján

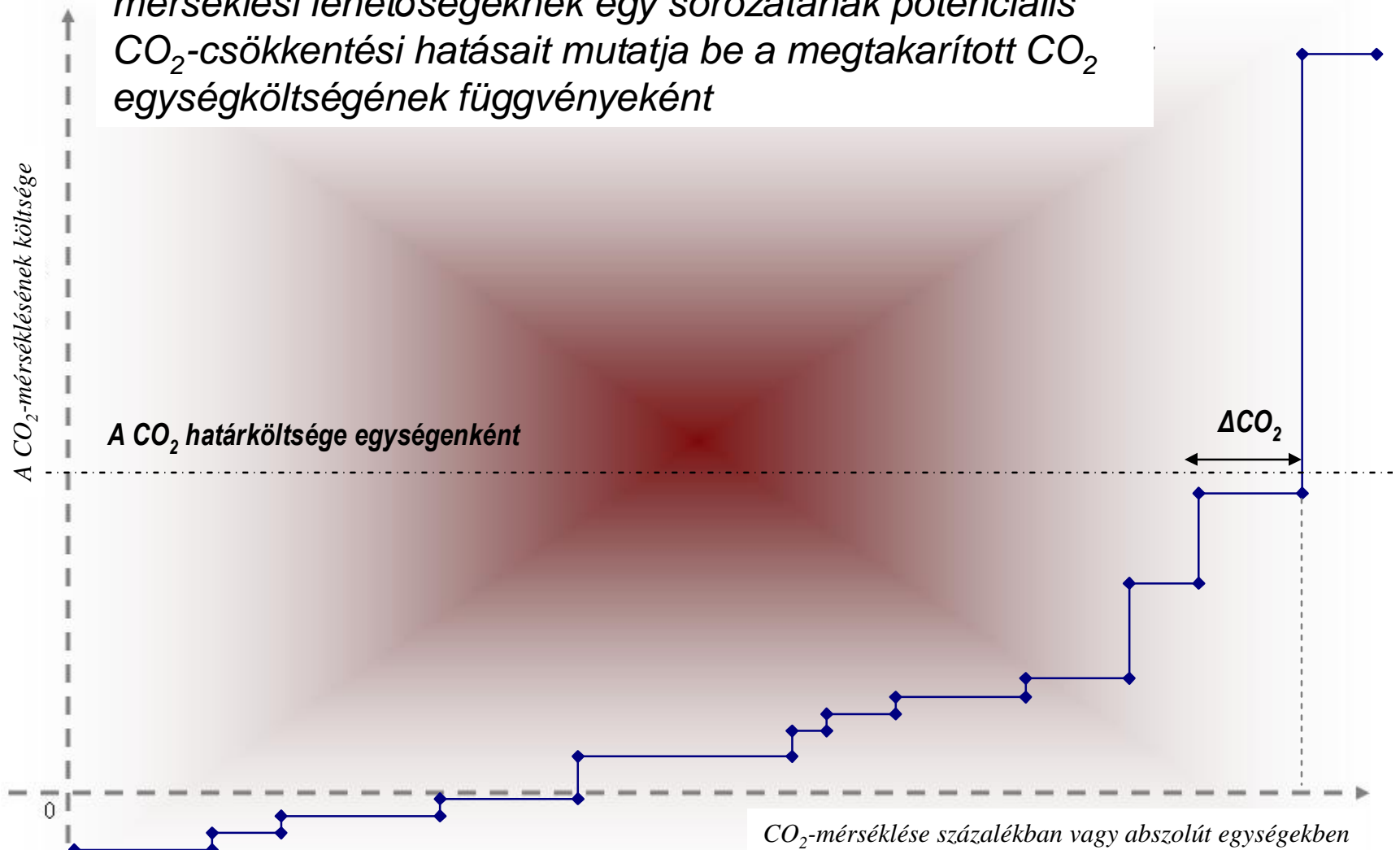


A kutatás módszertana



Használt módszer: a CO₂-mérséklés kínálati görbéje

Definíció: a CO₂-mérséklés kínálati görbéje a technológiai mérséklési lehetőségeknek egy sorozatának potenciális CO₂-csökkentési hatásait mutatja be a megtakarított CO₂ egységköltésének függvényeként



Forrás: a Rufo and Coito (2002) alapján készült

Főbb feltételezések és adatforrások

❖ Fő feltételezések

- ❖ Modellezési időszak 2008-tól 2025-ig
- ❖ Alapforgatókönyv: lehetőleg közel a változatlan folytatás feltételezéséhez
- ❖ Mérséklési forgatókönyv = alapforgatókönyv – technológiai potenciál
- ❖ Leszámítolási kamatláb 6%
- ❖ Fűtőanyag- és energiaárak évi növekedése 1,5% reális értékben

❖ Adatforrások: 161 hivatkozás

- ❖ 'Enciklopédiák'
- ❖ Nemzeti és EU statisztikák és felmérések
- ❖ Interjúk
- ❖ Aktuális/folyamatban lévő projektek
- ❖ Címkézési és standardizáló program jelentései
- ❖ Jelentések, piackutatási eredmények, gyártószövetségek és tanácsadók bemutatásai, készülékkatalógusok és -árlisták
- ❖ Más hasonló modellek



A kutatás korlátai

- ❖ A kiválasztott modellezési módszerrel kapcsolatos határok
 - ❖ Bemenő adatok számottevő mennyisége
 - ❖ A potenciál az azonosított intézkedések listájához kapcsolódik egy meghatározott időpontra vonatkozóan
 - ❖ Az energiaszolgáltatások felfogása nem változik az idővel
 - ❖ Csak a racionális döntésekre való támaszkodása a minimális költség alapján
- ❖ A CO₂-mérséklés járulékos hasznai és akadályai figyelmen kívül hagyása
- ❖ A nem-technológiai lehetőségek figyelmen kívül hagyása
- ❖ Néhány technológiai mérséklési lehetőség figyelmen kívül hagyása
 - ❖ Különböző készülékek elektromos áramfogyasztása
 - ❖ A főzésre és (felvonó-)motorokra vonatkozó lehetőségek
 - ❖ Légkondicionálás
 - ❖ Az épület hőtechnikai héja és a fűtőrendszer felújításának bizonyos lehetőségei
- ❖ A bizonytalanságok csökkentése és feltételezések tisztázása
 - ❖ A HDH és CDH várható csökkenése
 - ❖ A háztartási gépek és fények által kibocsátott hő
 - ❖ Az energiaárak dinamikájának kutatása a 2008-2025-s időszakra
 - ❖ Az élenjáró és referenciatechnológiák árdinamikájának vizsgálása
 - ❖ CO₂-kibocsátási tényezők a háztartási elektromos áramra és a fogyasztott hőre vonatkozóan
 - ❖ Visszaugrási hatás



A kutatás eredményei

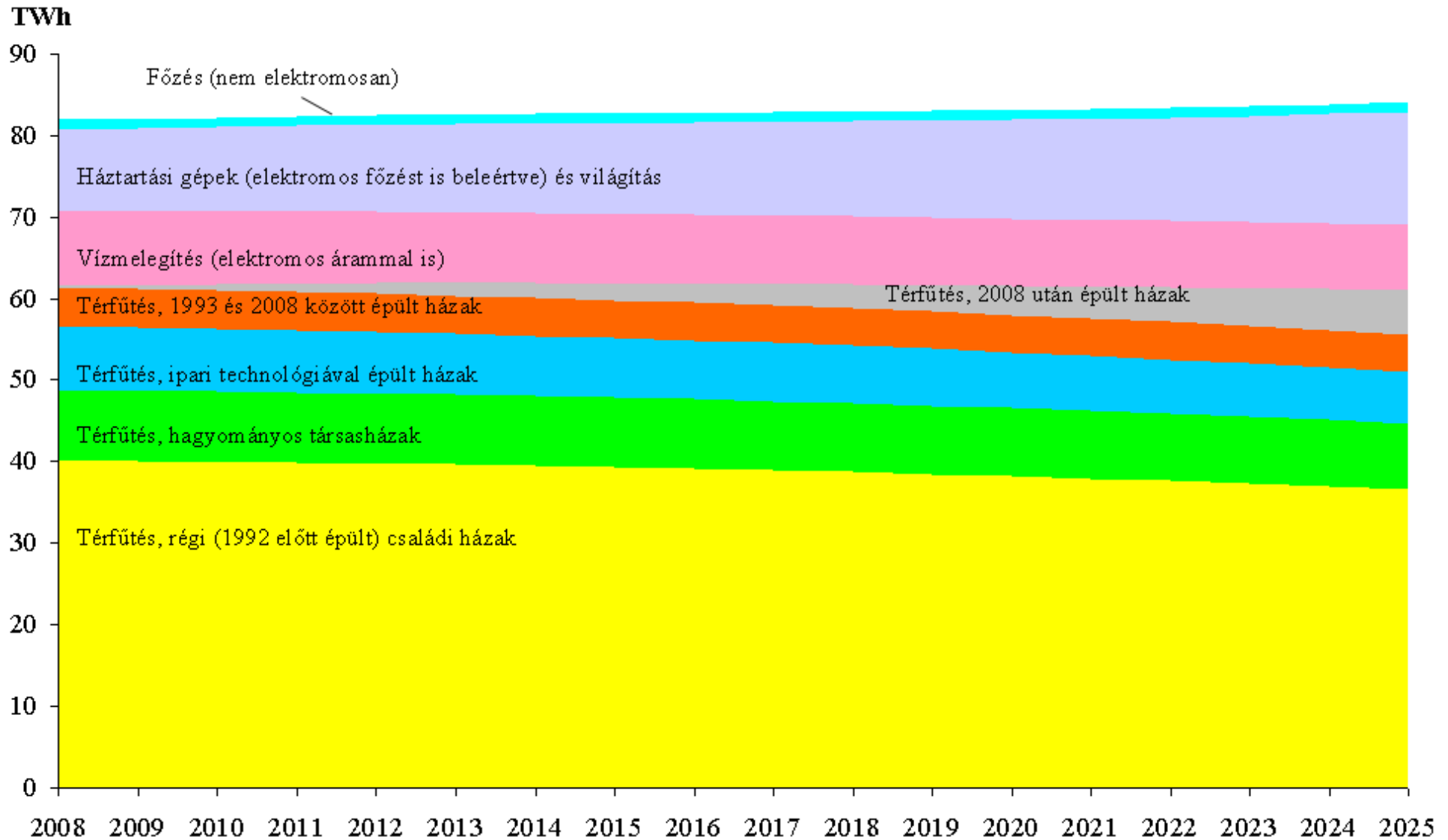
CENTER FOR CLIMATE CHANGE
AND SUSTAINABLE ENERGY POLICY



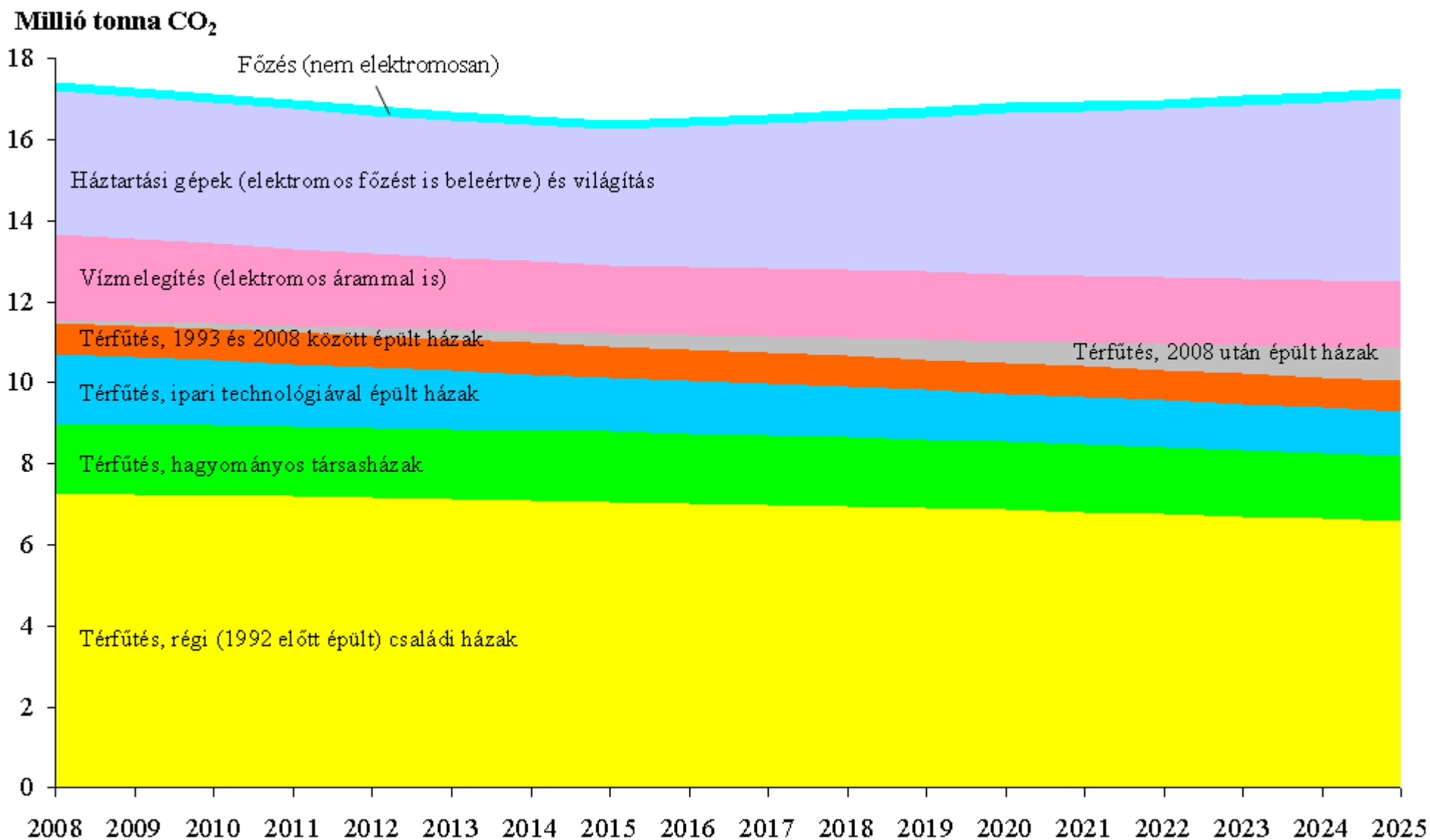
CENTRAL EUROPEAN UNIVERSITY



A szektor aenergia-felhasználásának előrejelzése a referenciaesetben, 2008 - 2025



Vetített szektori CO₂-kibocsátás a referenciaesetben, 2008 - 2025

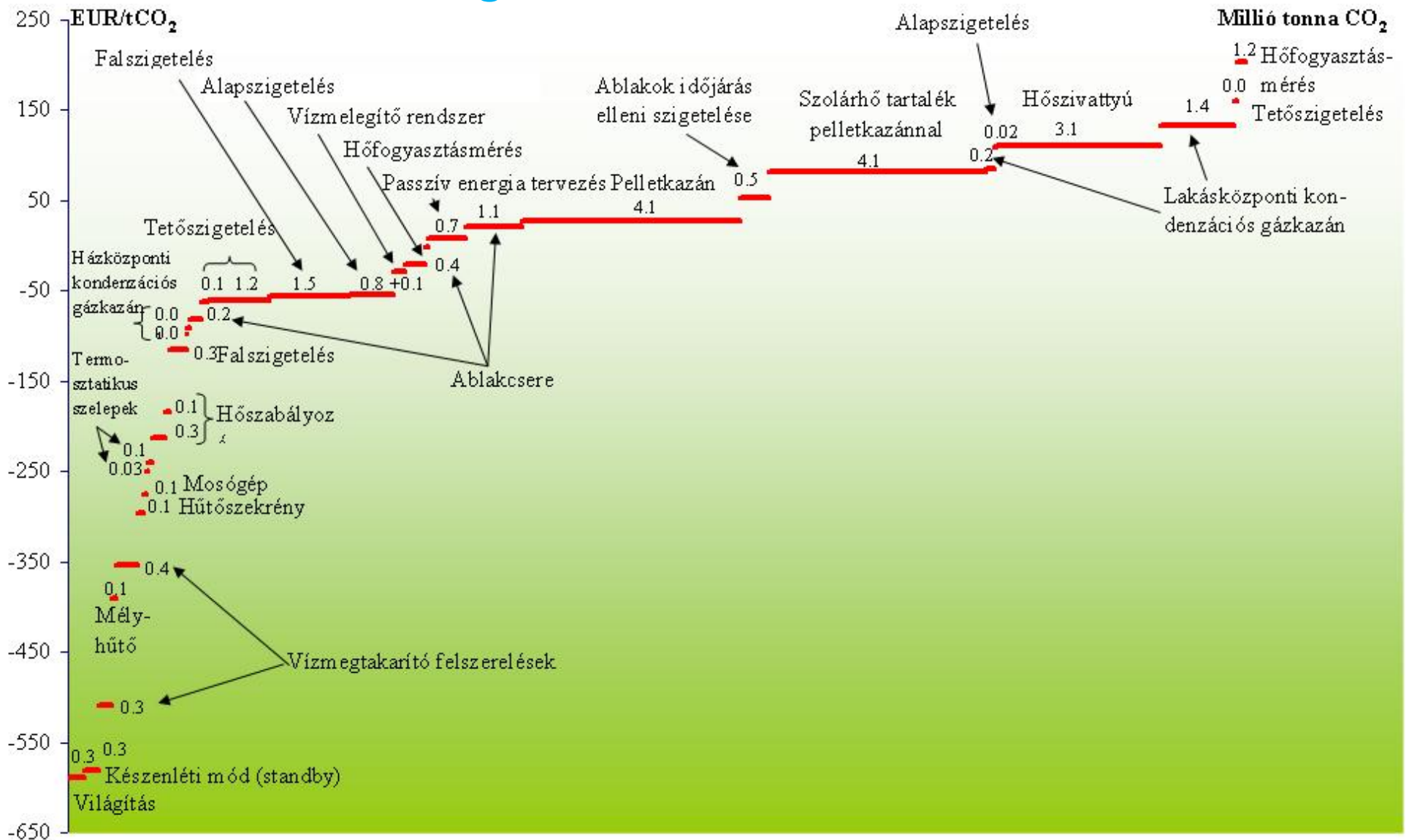


Megvizsgált hatékonysági és fűtőanyagcsere-lehetőségek

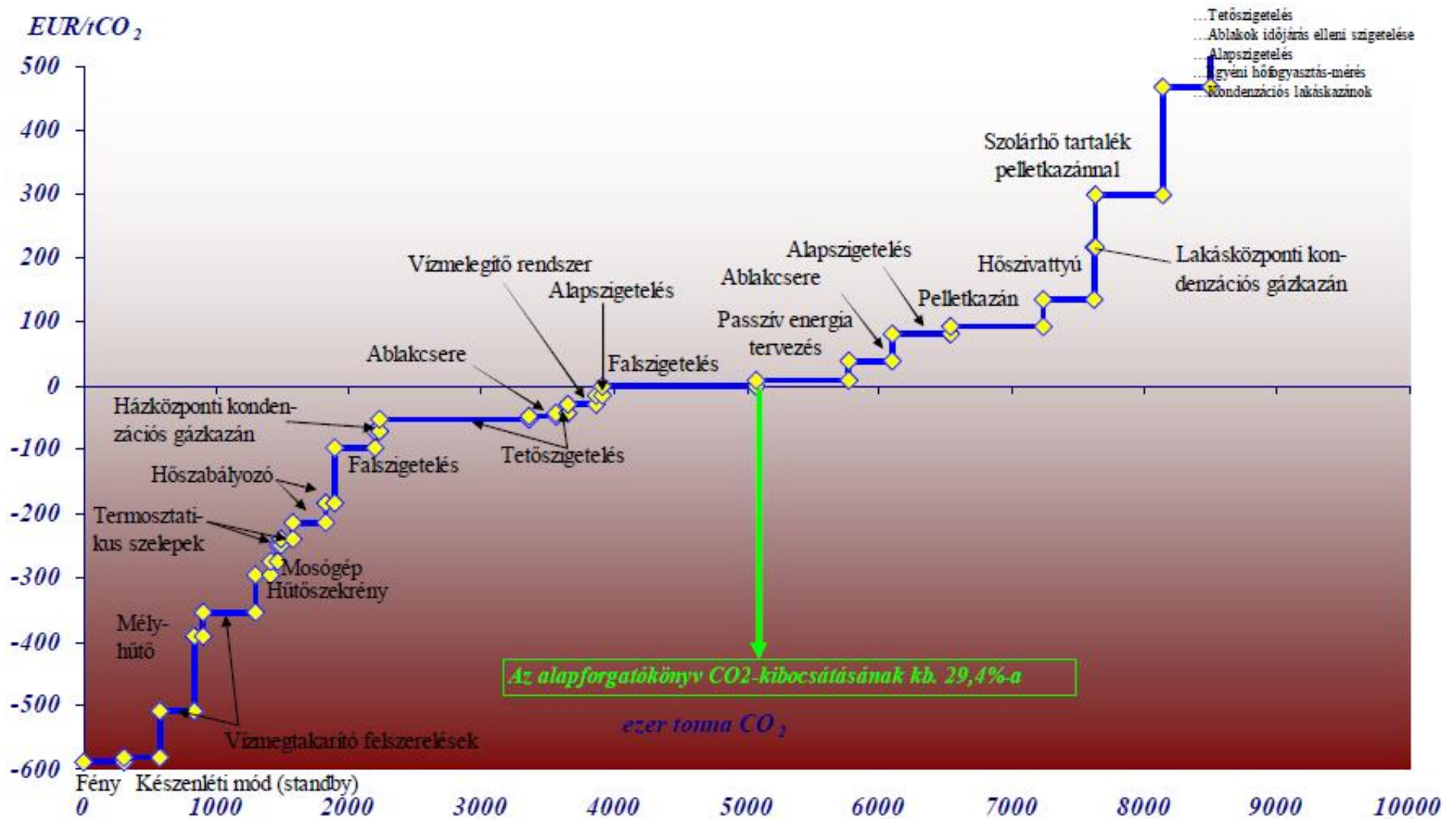
Mérséklési lehetőség	Háztartások a következő épületekben:				
	Hagyományos társasházak	Ipari technológiával épült társasházak	Családi házak (1992 előtt épült)	1993 és 2007 épült házak	2008 óta épült házak
Épület hőtechnikai héja					
A falak, tető és pince szigetelése		X	X		
Ablakcsere	X	X	X		
Ablakok időjárás elleni szigetelése			X		
Passzív energia tervezés					X
Fűtési hatékonyság és fűtőanyag cseréje					
Házközponti kondenzációs gázrendszer	X	X			
Lakásközponti kondenzációs gázrendszer	X		X		
Hőszivattyú			X		
Pelletkazán			X		
Szolárfűtési rendszer tartalék pelletkazánnal			X		

Méréslehetőség	Háztartások a következő épületekben:				
	Hagyományos társasházak	Ipari technológiával épült társasházak	Családi házak (1992 előtt épült)	1993 és 2007 között épült házak	2008 óta épült házak
Fűtés szabályozása					
Termosztikus szelepek (táv- és központi fűtés esetén)	X	X			
Programozható hőszabályozók (kivéve táv- és központi fűtés, szén és biomassza)	X		X		
Egyéni hőfogyasztásmérés (táv- és központi fűtés esetén)	X	X			
Vízmelegítés					
A kombinált térfűtési és vízmelegítési rendszerek hatékonyságának javítása	X	X	X		
A kizárólag vízmelegítési berendezések cseréje hatékonyabb berendezésekre	X	X	X	X	X
Vízmegetakarítási felszerelések	X	X	X	X	X
Elektromos készülékek és világítás					
Hatékonyabb hűtőszekrények és mélyhűtők	X	X	X	X	X
Hatékonyabb mosógépek	X	X	X	X	X
Készenléti áram csökkentése (TV és PC)	X	X	X	X	X
Hagyományos izzók cseréje CFL-re	X	X	X	X	X

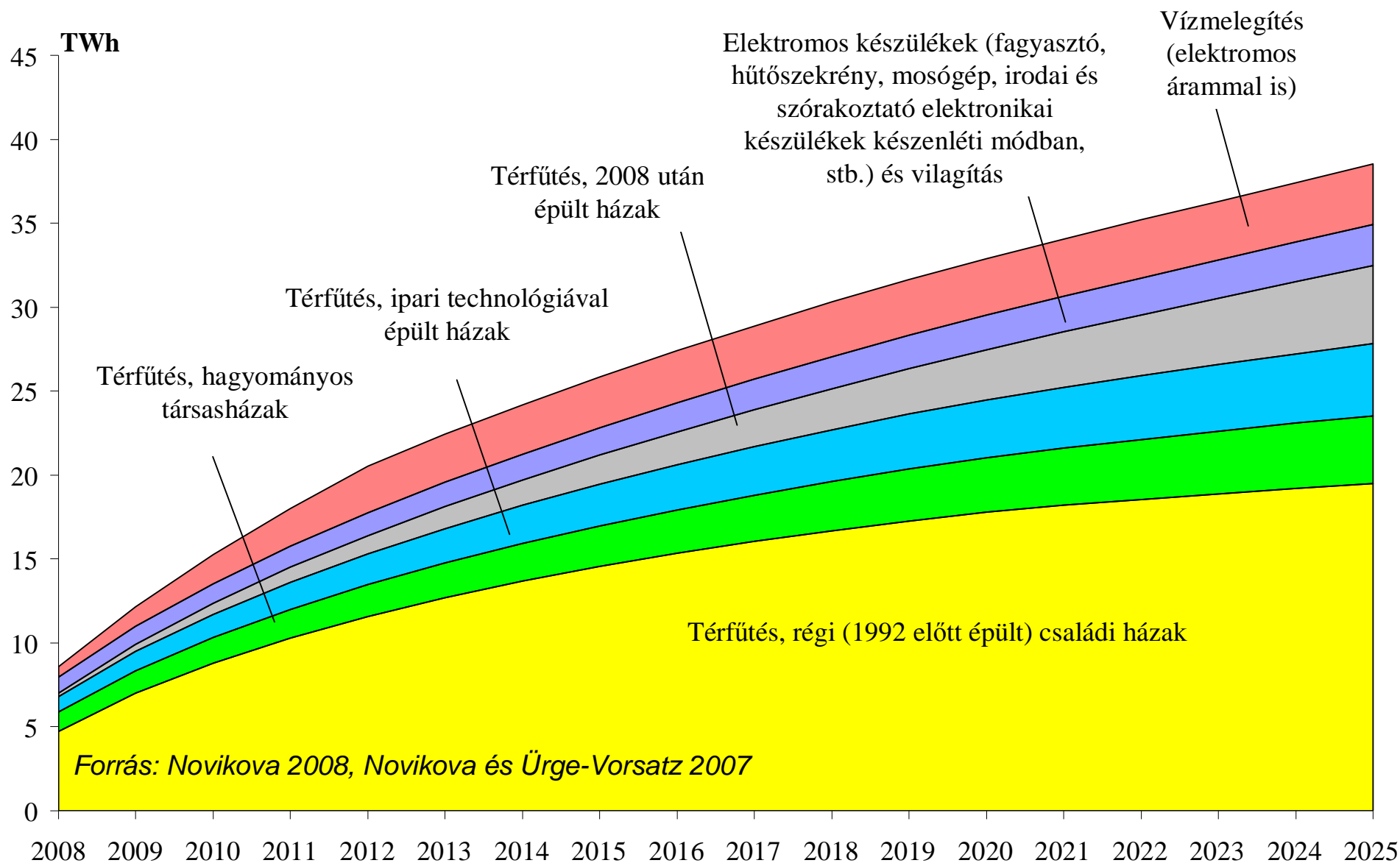
Az alkalmazott megoldások potenciáljai és költségei külön-külön, 2025-ben



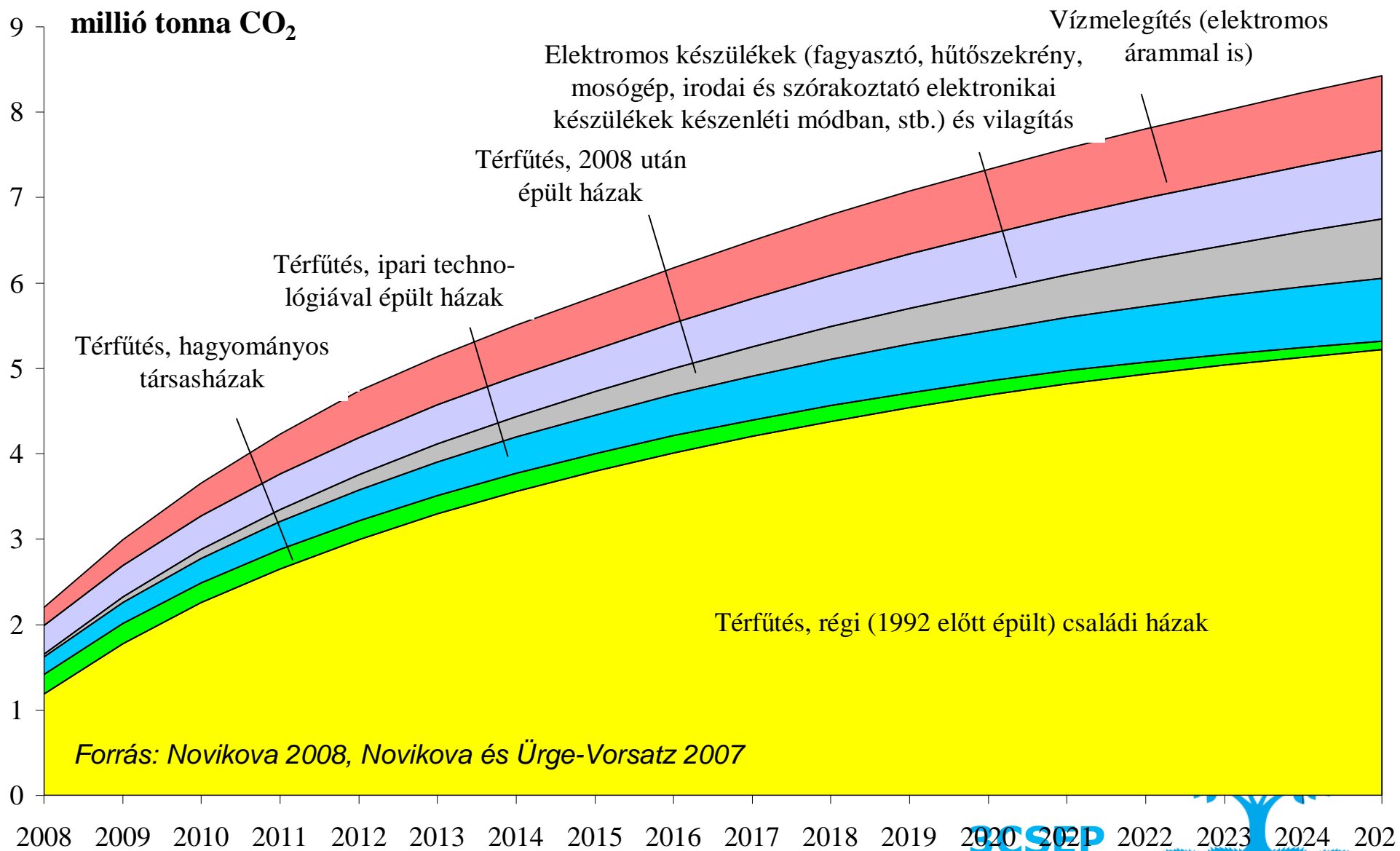
A magyar lakossági szektor CO₂-mérséklési kínálati görbéje 2025-ben



Kumulatív végenergia-megtakarítási potenciál a magyar lakossági szektorban, 2008 - 2025



Kumulatív CO₂ megtakarítási potenciál a magyar lakossági szektorban, 2008 - 2025



Befektetési igény vs. energiaköltség-megtakarítások

CO ₂ -mérés- ségi költség kategóriái, EUR/tCO ₂	Kumulált CO ₂ - mérés- ségi potenciál		CO ₂ -mérés- ségi potenciál költség- kategória szerint		Kumulált energia- megtakarítások		Befektetések 2008- 2025 között, milliárd EUR		Megtakarított energiaköltség 2008 – 2025, milliárd EUR	
	Alapfor- g.könyv szerint	Millió tCO ₂ /év	Alapfor- g.könyv szerint	Millió tCO ₂ /év	Alapfor- g.könyv szerint	TWh/ év	Össze- sen	Költség- kateg. szerint	Ösz- sze- sen	Költség- kateg. szerint
< 0	29,4%	5,1	29,4%	5,1	26,3%	22,1	9,6	9,6	17,1	17,1
0 – 20	33,4%	5,8	4,0%	0,7	31,8%	26,8	13,6	3,9	19,0	1,8
20 – 100	41,6%	7,2	6,3%	1,1	36,2%	30,5	18,1	3,1	21,9	2,1
>100	50,5%	8,7	8,9%	1,5	42,0%	35,3	29,0	10,9	25,7	3,8



Következtetések

- ❖ A lakóépületek a klímaváltozás-mérséklési politikák kulcsfontosságú célterülete
- ❖ 2025-ig várhatóan növekszik a lakossági energiafogyasztás, a CO₂-kibocsátás pedig valamennyit csökkenhet a közeljövőben, de utána növekedni fog
- ❖ Számos energiahatékonysági és fűtőanyagcsere-lehetőségek léteznek, amelyek lényegesen csökkenthetik az előrejelzett CO₂-kibocsátást
- ❖ A CO₂-mérséklés költséghatékony potenciálja
 - ❖ ...számottevő az összes megvizsgált épülettípusban
 - ❖ ...az alapforgatókönyvbeli CO₂-kibocsátás kb. 29%-át tesz ki 2025-ben (alacsony becslés)
- ❖ A legalacsonyabb költségű mérséklési lehetőségek viszonylag olcsók és egyszerűek
 - ❖ Hatékony világítás, fűtés és a vízfolyás szabályozása
- ❖ A legnagyobb potenciállal rendelkező lehetőségek viszonylag drágábbak
 - ❖ Fűtőanyag cseréje és a régi épületek hőtechnikai héjának javítása
- ❖ Az épületállomány átváltása rendkívül lassú
 - ❖ A CO₂-mérséklési potenciál nagy része be van zárva a meglévő épületekben
 - ❖ Ezeknek az épületeknek a felújítása az egyik fő prioritás



Köszönjük a figyelmet!

<http://3csep.ceu.hu>

Aleksandra Novikova: novikovaa@ceu.hu

Diana Ürge-Vorsatz: vorsatzd@ceu.hu

CENTER FOR CLIMATE CHANGE
AND SUSTAINABLE ENERGY POLICY



CENTRAL EUROPEAN UNIVERSITY



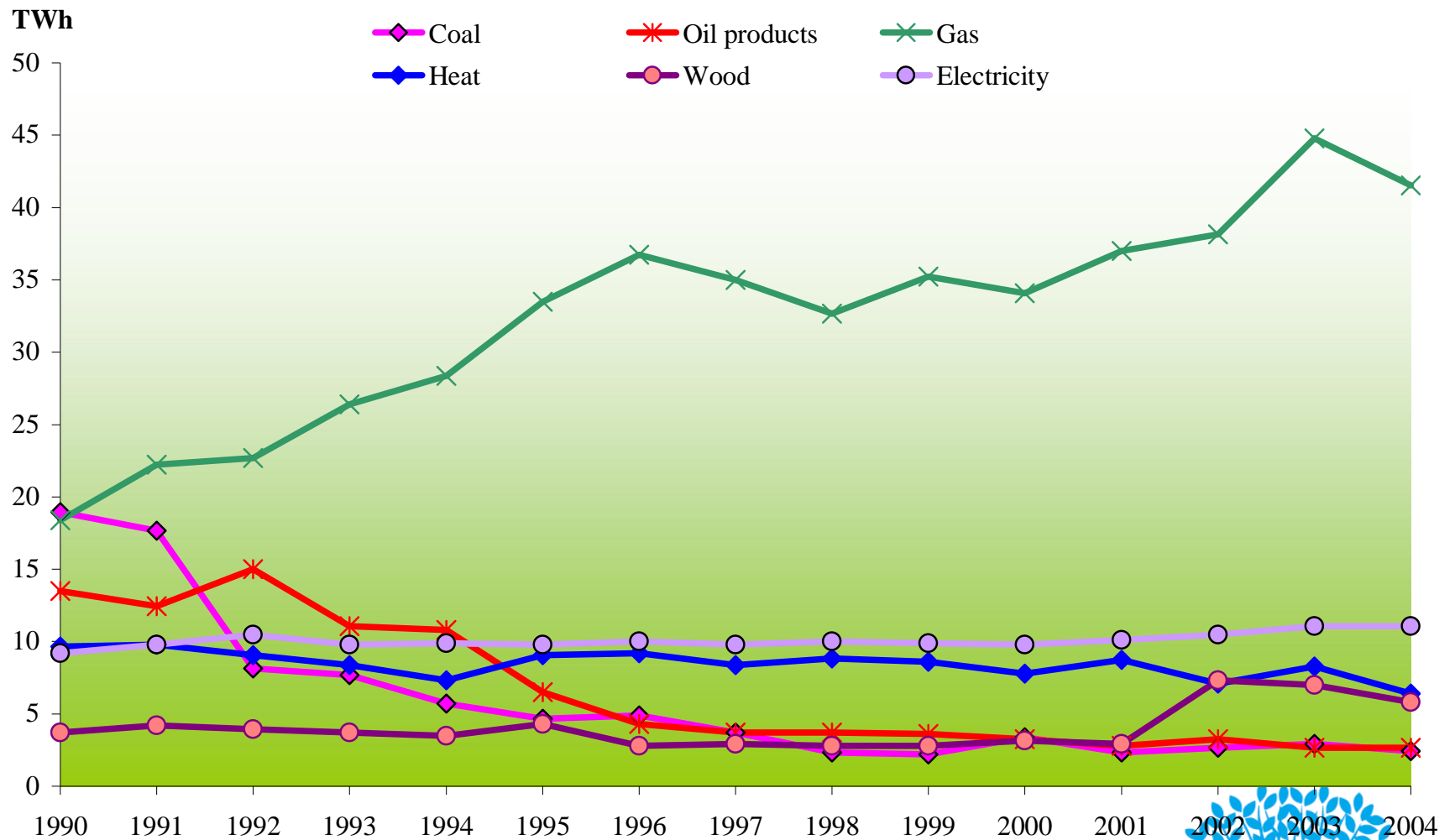
Kiegészítő ábrák

CENTER FOR CLIMATE CHANGE
AND SUSTAINABLE ENERGY POLICY



CENTRAL EUROPEAN UNIVERSITY

Dynamics of final energy use in the residential sector of Hungary, 1990 - 2004

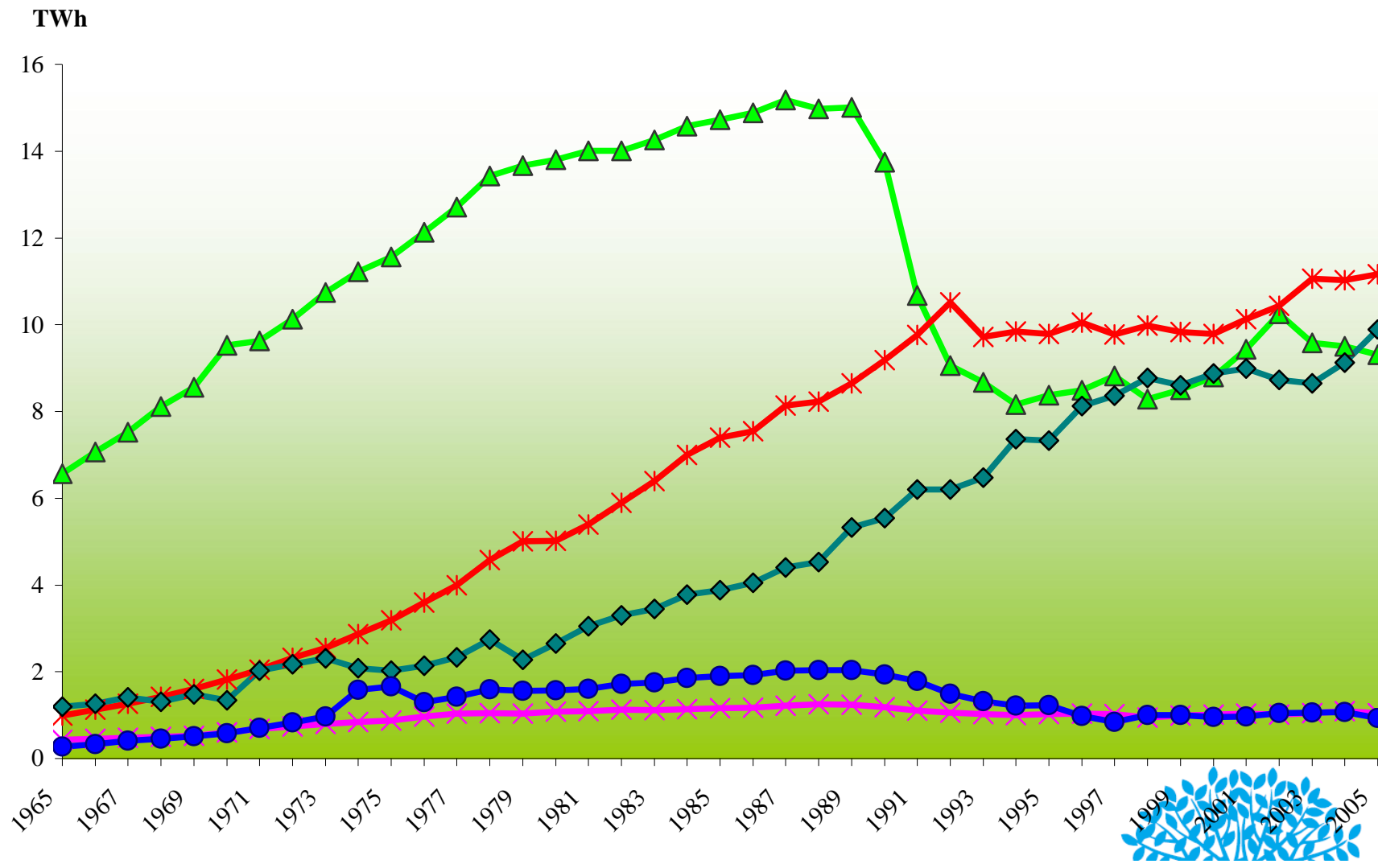


Source: constructed based on ODYSSEE NMS (2007)

3CSEP



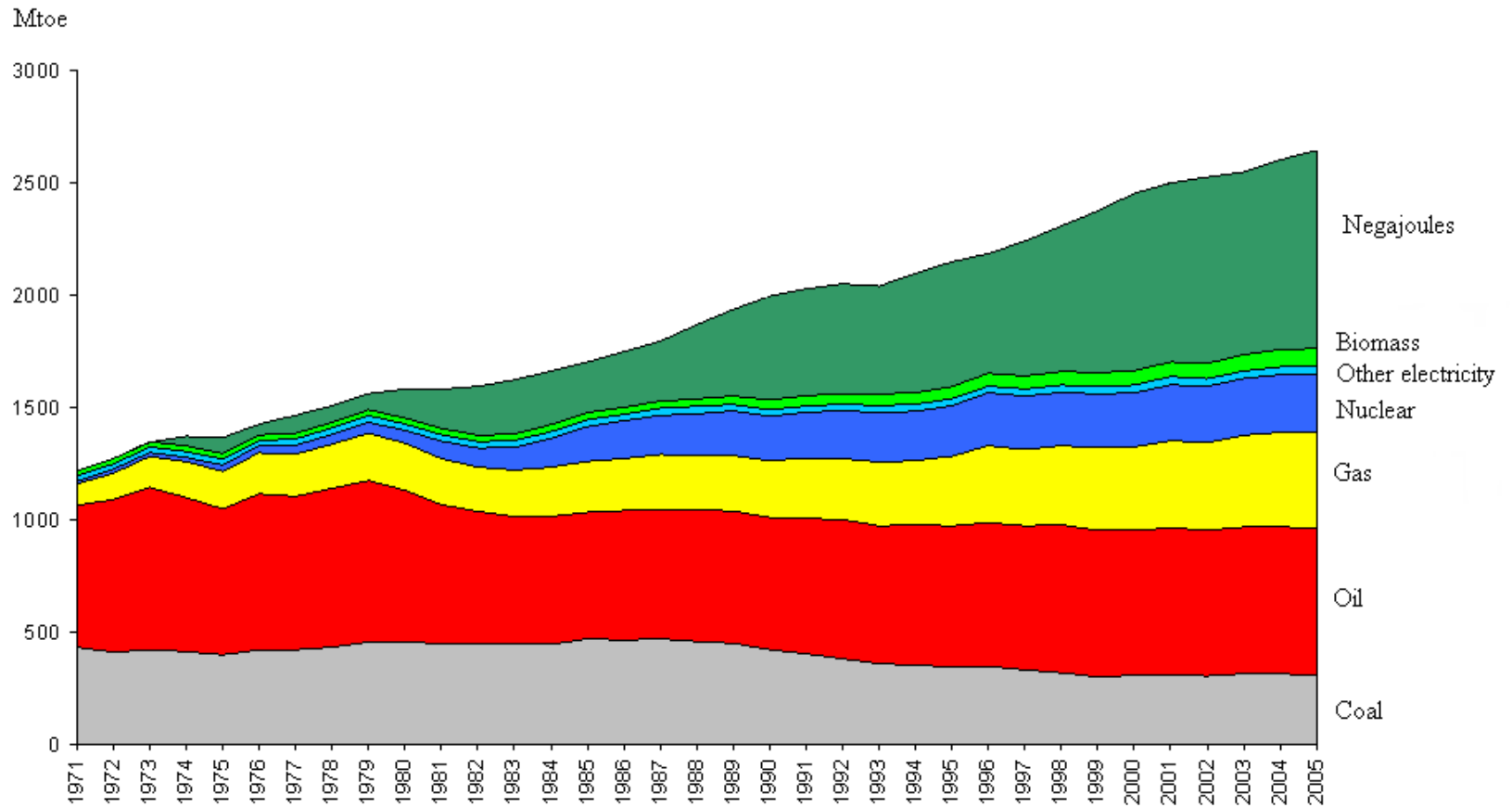
Dynamics of electricity consumption of end-use sectors in Hungary, 1965-2005



Source: CI

- ▲ Total Industry Sector
- ✱ Total Transport Sector
- ✱ Residential Sector
- ◆ Commercial and Public Services
- Agriculture

Dynamics of primary energy demand in the EU-25



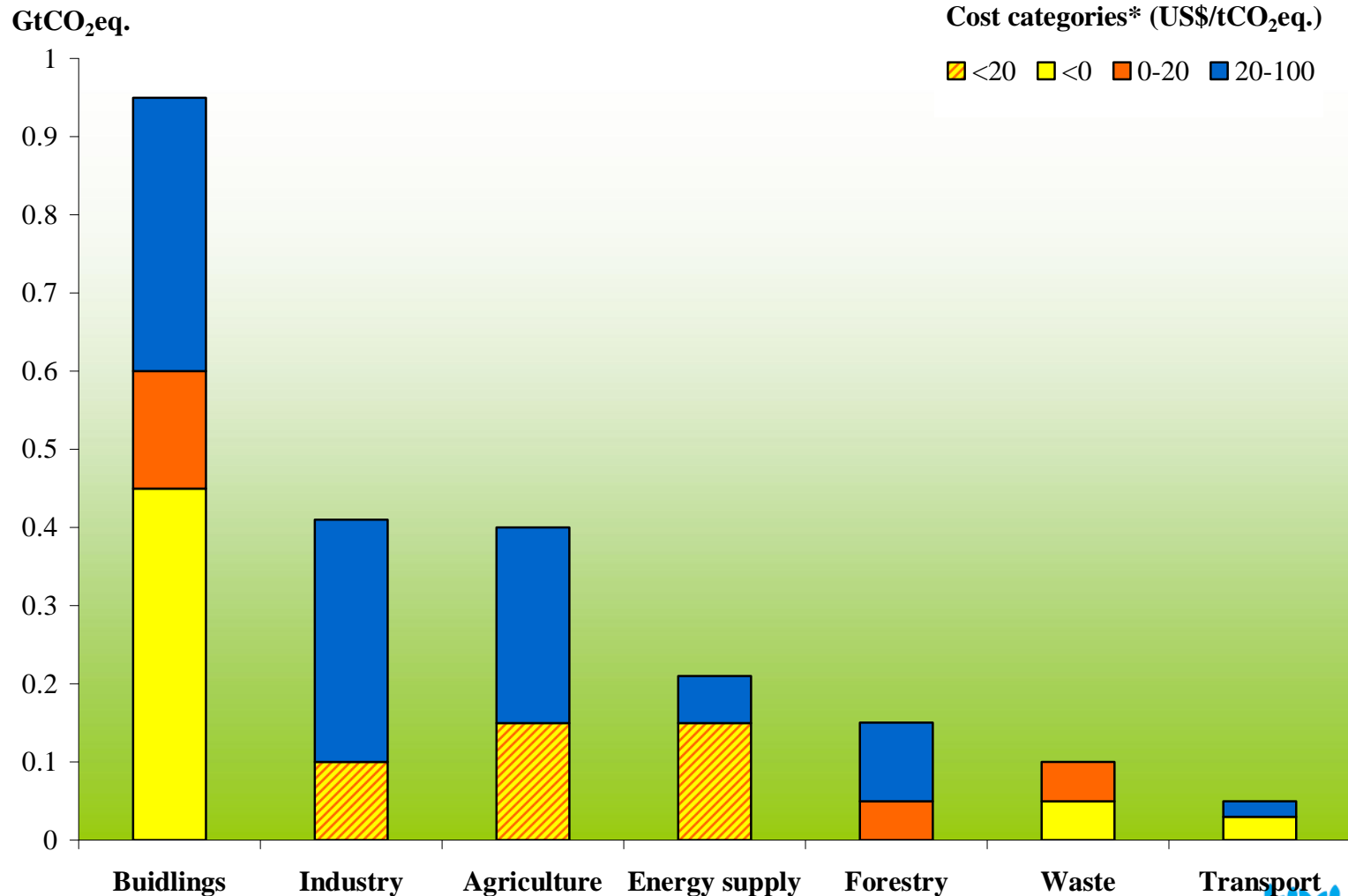
Note: "Negajoules" refers to energy savings calculated on the basis of energy intensity in 1971.

Source: Commission of the European Communities 2006.

3CSEP



Potential for CO₂ mitigation in economies in transition at a sectoral level, 2030

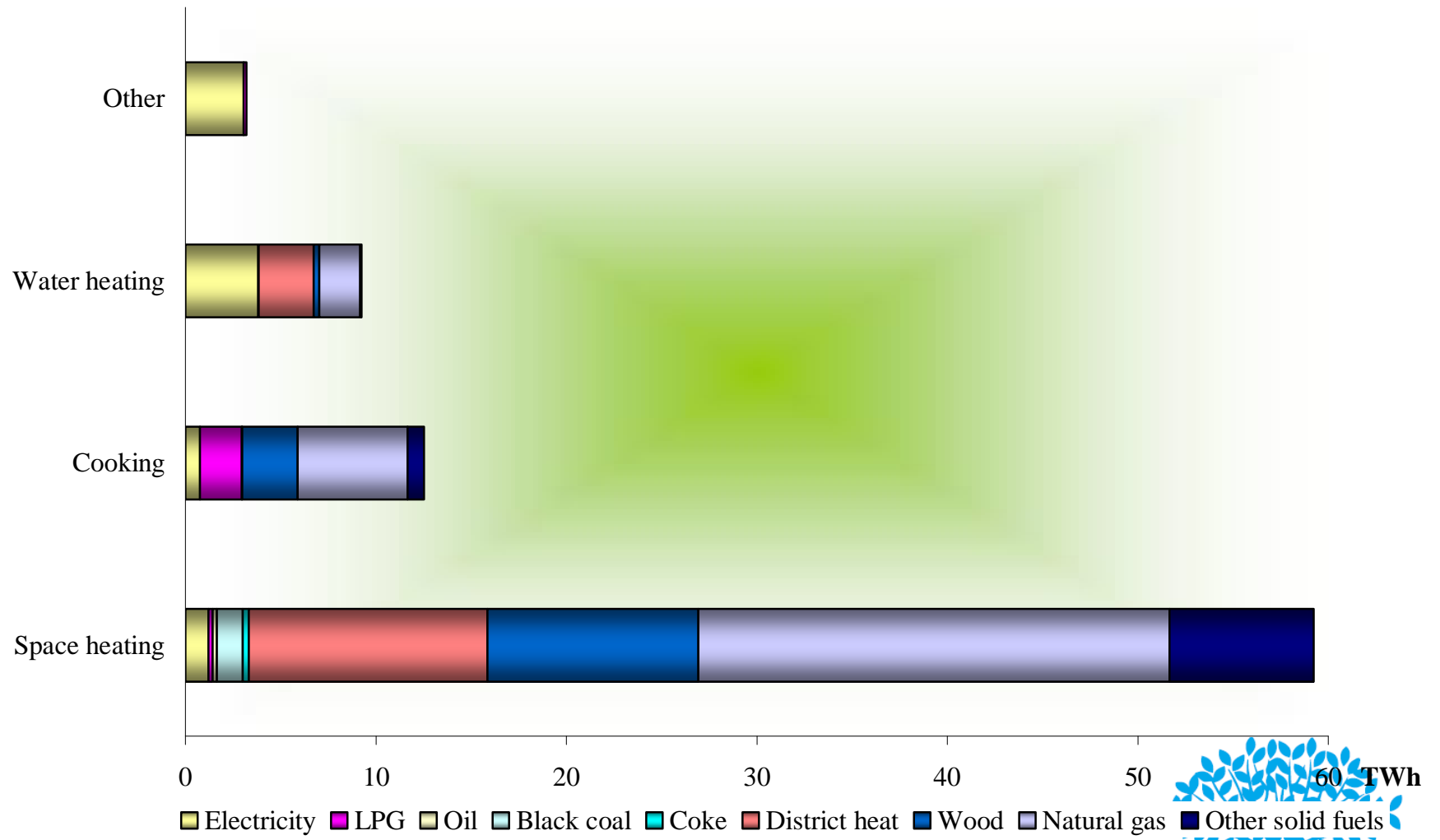


Note: For the buildings, forestry, waste and transport sectors, the potential is split into three cost categories: at net negative costs, at 0-20 US\$/tCO₂, and 20-100 US\$/tCO₂. For the industrial, forestry, and energy supply sectors, the potential is split into two categories: at costs below 20 US\$/tCO₂ and at 20-100 US\$/tCO₂.

Source: constructed based on Baker *et al.* (2007)

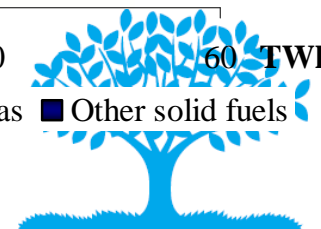


Energy use breakdown of the Hungarian residential sector, 1996

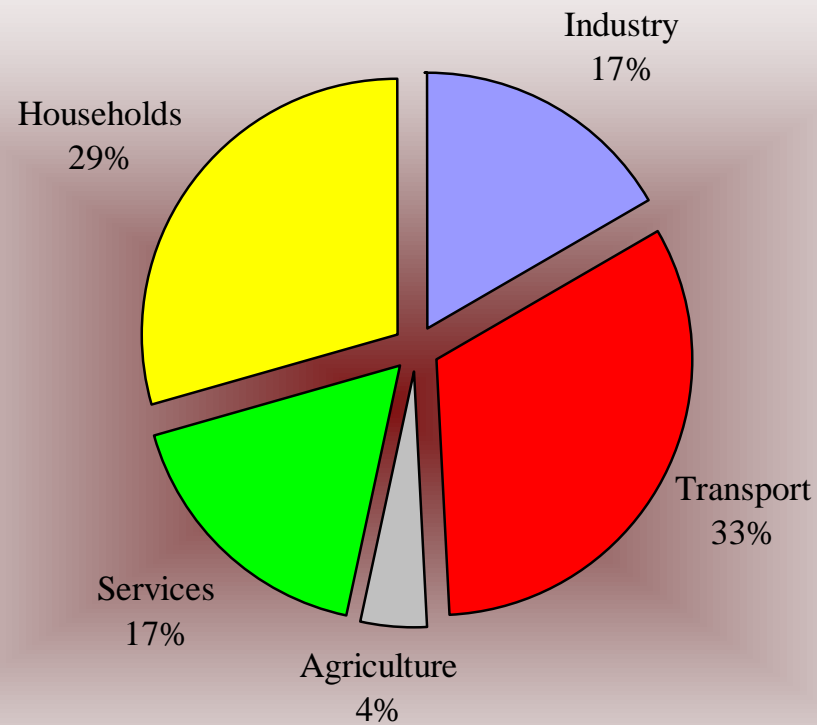


Source: constructed KSH 1998.

3CSEP

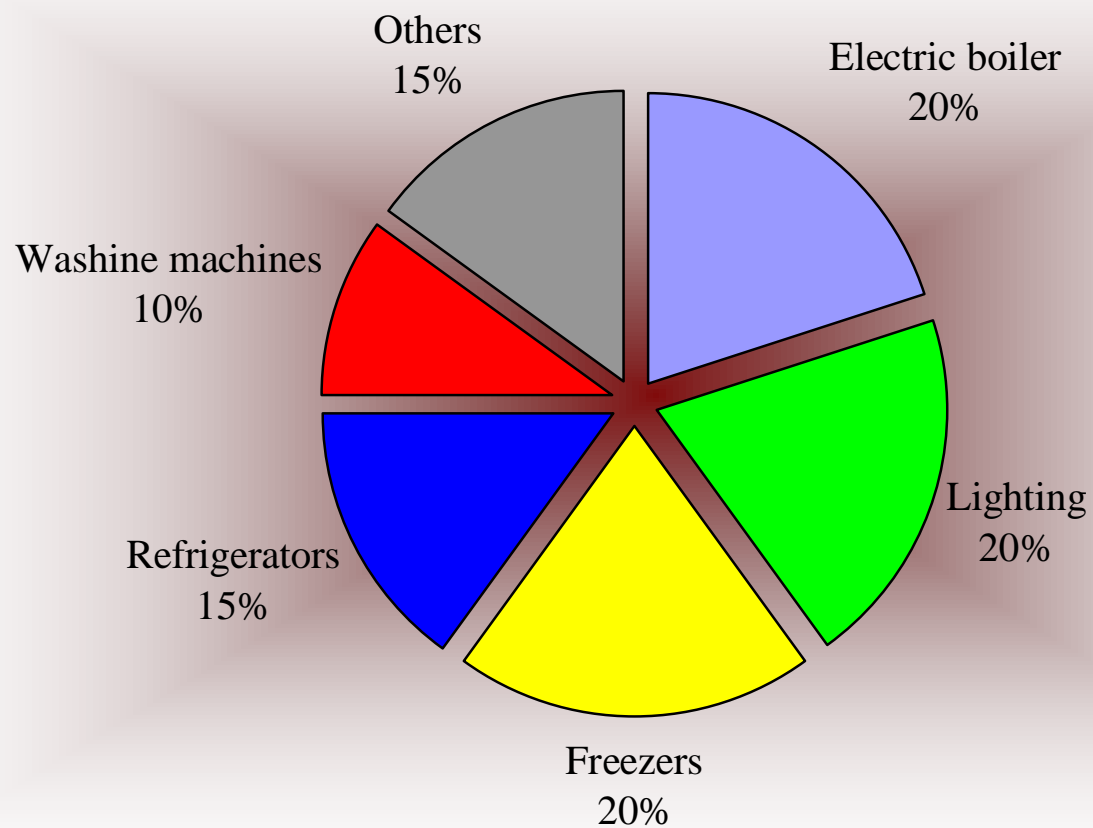


Breakdown of direct CO₂ emissions by final energy users in Hungary, 2004



Source: constructed based on ODYSSEE NMS (2007)

Breakdown of electricity consumption in the Hungarian residential sector, 2004



Calculation procedures: technical part

$$FE_i = \sum FE_{SpaceHeating_{m,j,i}} + \sum_i FE_{WaterHeating_{j,i}} + \sum_i FE_{Appliances\&Lights_{j,i}} + \sum_i FE_{Cooking_{j,i}}$$

$$CO_{2s,i} = FE_{s,i} \times EF_{s,i}$$

$$FE_{SpaceHeating_{m,j,i}} = \frac{UE_{SpaceHeating_{m,i}}}{\eta_{SpaceHeating_{j,i}}}$$

$$UE_{SpaceHeating_{m,i}} = EL_{Transmission_{m,i}} + EL_{Infiltration_{m,i}}$$

$$EL_{Transmission_{m,i}} = HDH_i \times \sum U_{l,m} \times A_{l,m}$$

$$EL_{Infiltration_{m,i}} = HDH_i \times ACH_m \times V_m \times \rho_{air} \times c_{air}$$

$$FE_{WaterHeating_{j,i}} = \frac{V_i \times UE_{WaterHeating}}{\eta_{WaterHeating_{j,i}}}$$

$$FE_{ColdAppliance_i} = UEC_{Reference} \times EEI_i$$

$$FE_{ClothesWashingMachine_i} = UEC_{Load_i} \times Load \times Time$$

$$FE_{Light_i} = Wattage_{Light_i} \times Time$$



Calculation procedures: economic part

$$MCCO_{2j,i} = \frac{\Delta AIC_{j,i} - EC_{j,i}}{\Delta CO_{2j,i}}$$

$$\Delta AIC_{j,i} = a_j \times AIC_{j,i} - a_{reference} \times AIC_{Reference,i}$$

$$a_j = \frac{(1 + DR)^{n_j} \times DR}{(1 + DR)^{n_j} - 1}$$

$$EC_{j,i} = \Delta FE_{j,i} \times Price_i$$

$$CCE_{j,i} = \frac{\Delta AIC_{j,i}}{\Delta FE_{j,i}}$$

$$MS_j = \frac{Q_j}{\sum_{j=1}^k Q_j} = \frac{\left(\frac{1}{PT_j}\right)^\gamma}{\sum_{j=1}^k \left(\frac{1}{PT_j}\right)^\gamma}$$



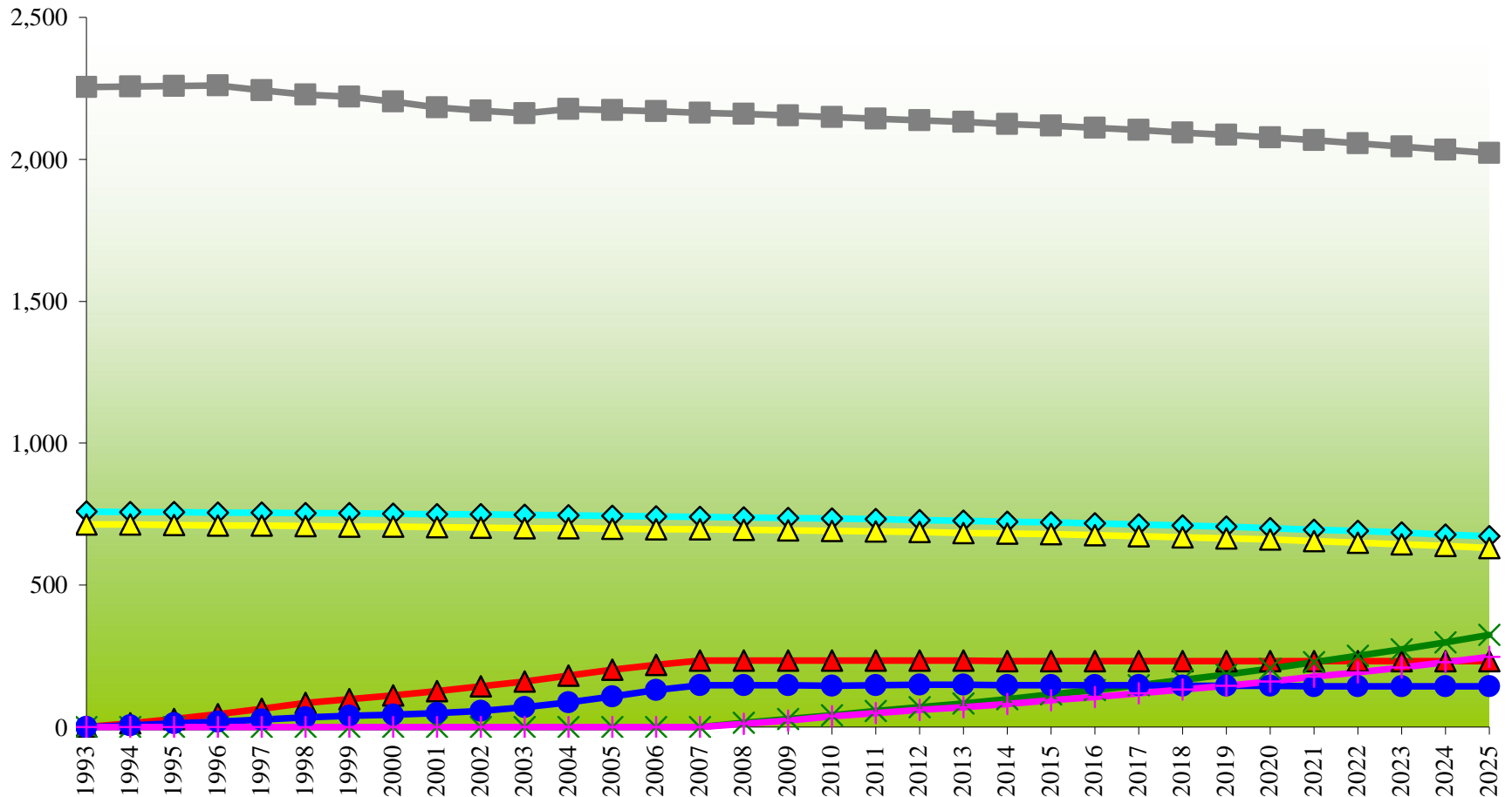
Thermal component: modeling structure

- ❖ Buildings are split into 5 categories
 - ❖ Architectural and thermal characteristics
- ❖ Main modeling steps
 - ❖ Buildings stock model for 2008 – 2025
 - ❖ Space heating split for 2008 – 2025
 - ❖ Water heating split for 2008 – 2025



The buildings stock model: projected household stock

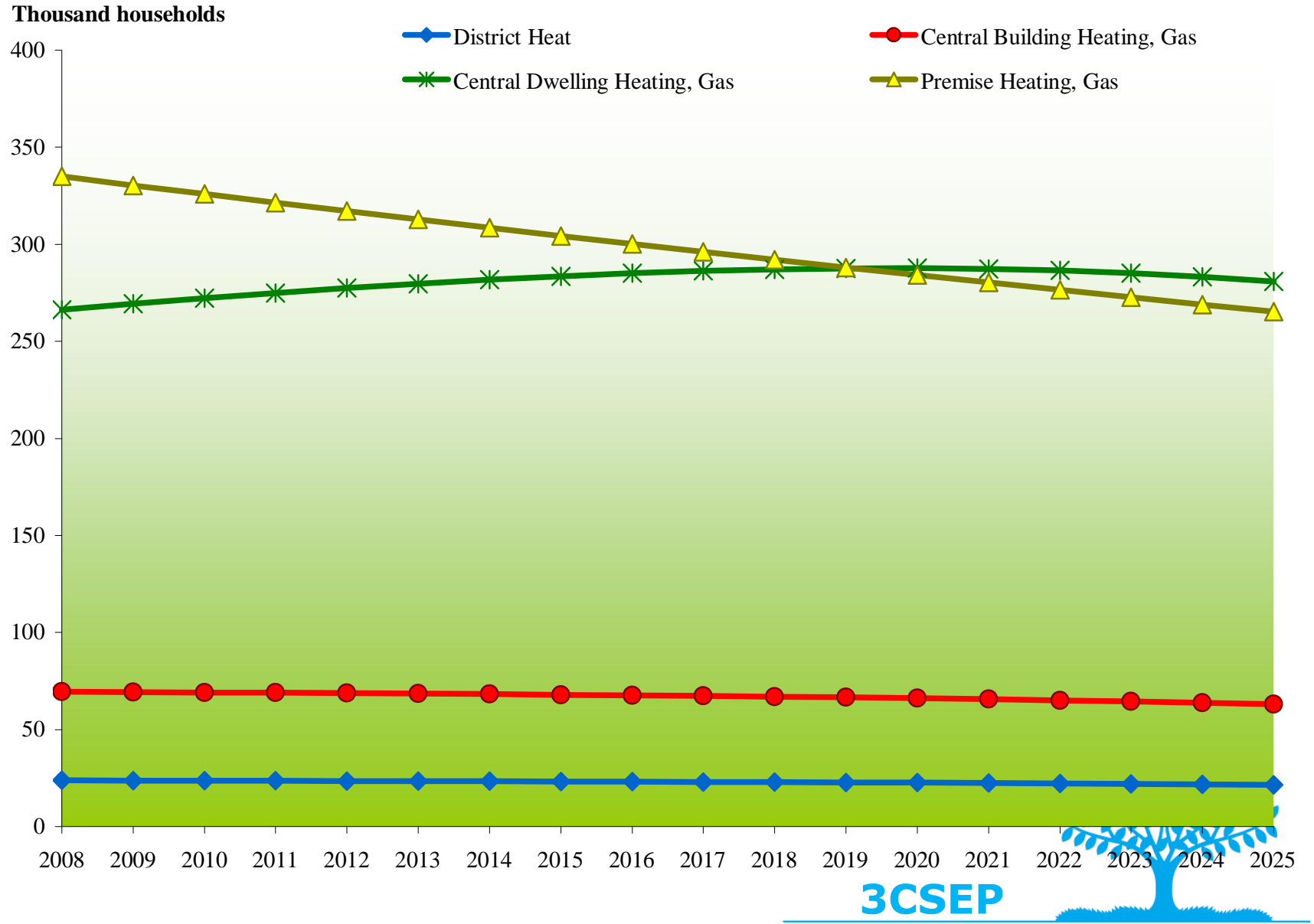
Thousand households



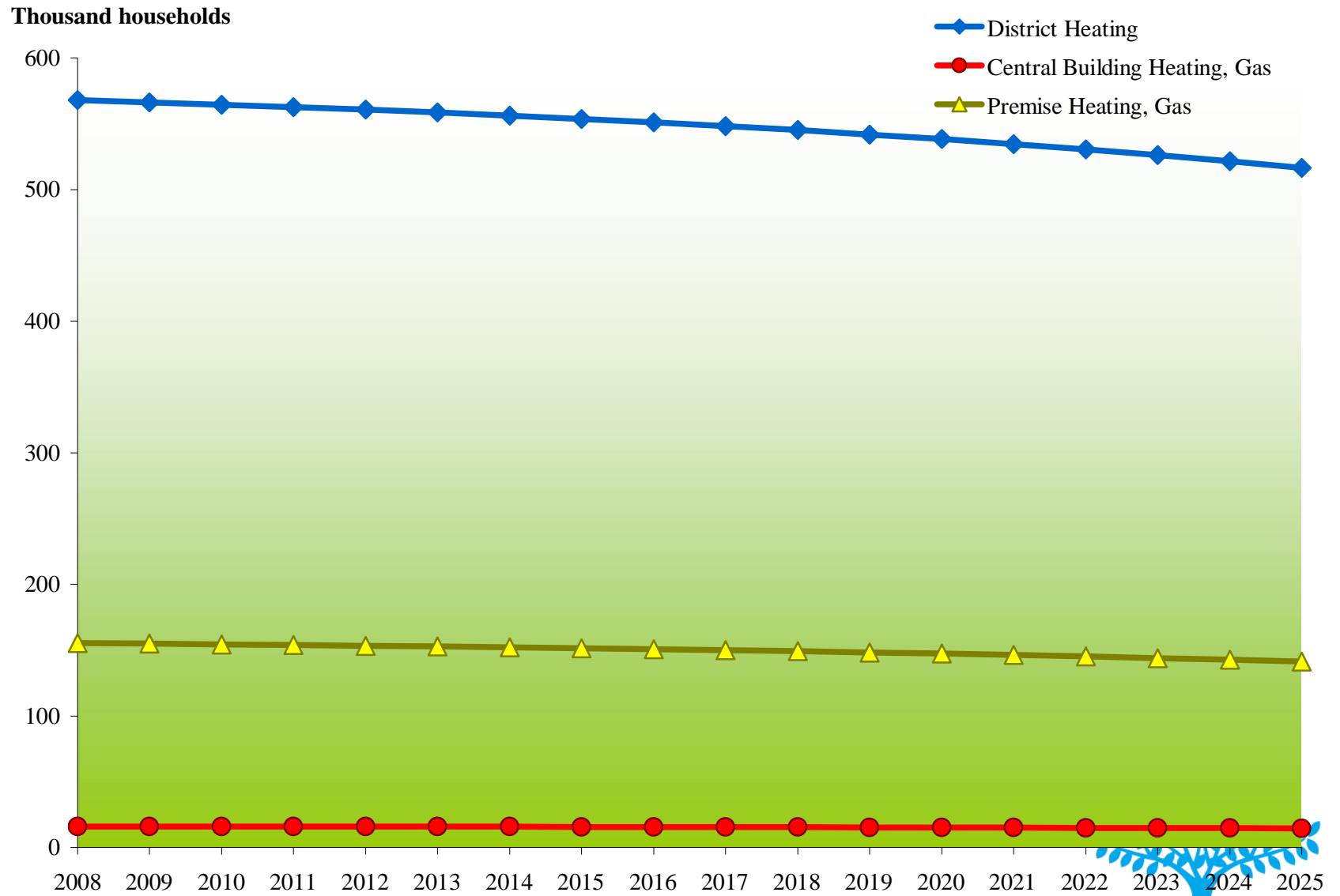
- ◆ Households in buildings built using industrialized technology
- ▲ Households in single-family houses built in 1993-2007
- ▲ Households in traditional buildings
- + Households in multi-residential buildings built after 2008
- Households in single-family houses built until 1992
- × Households in single-family houses built after 2008
- Households in multi-residential buildings built in 1993-2007



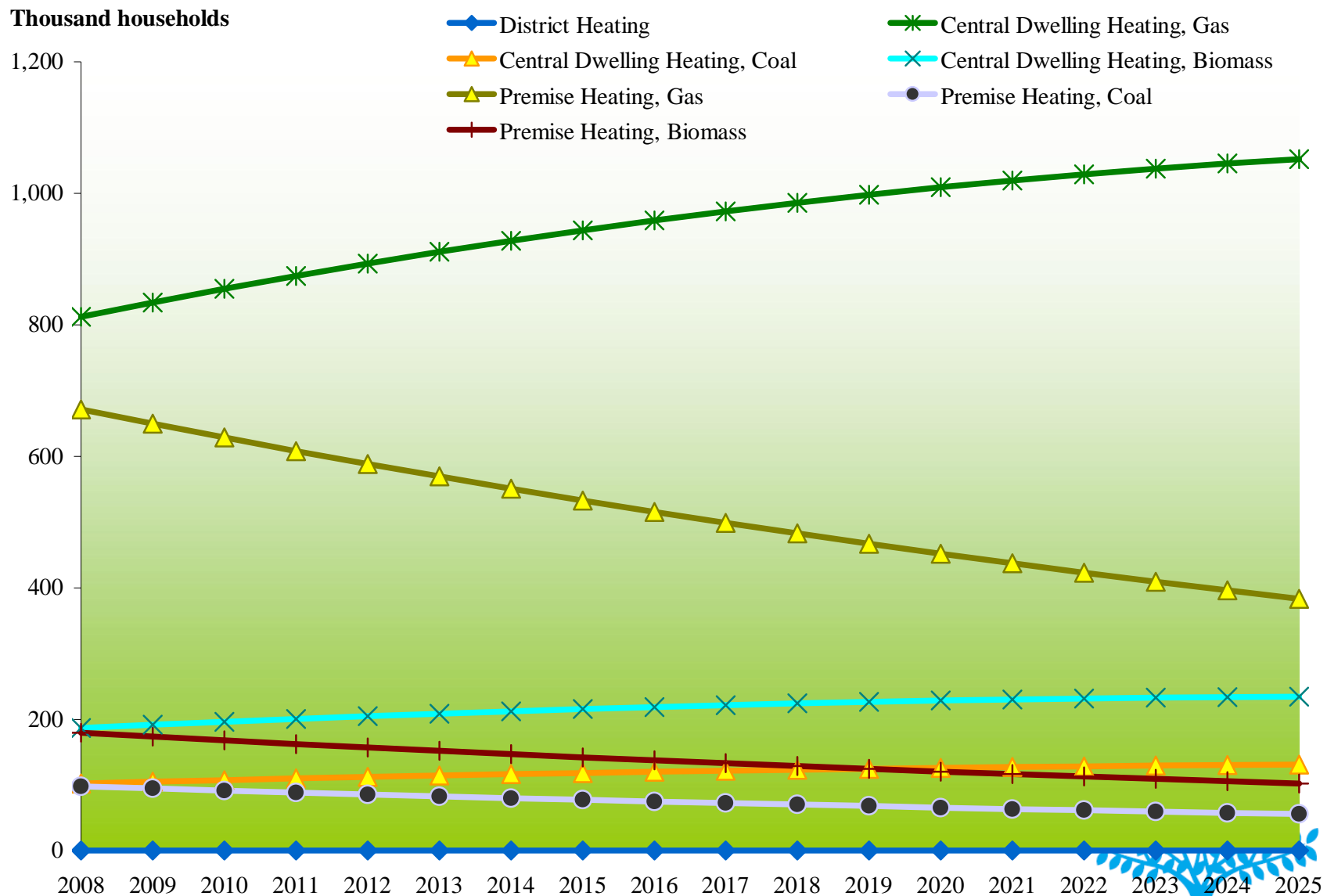
Space heating modes in households of the traditional buildings



Space heating modes in households of the industrialized buildings

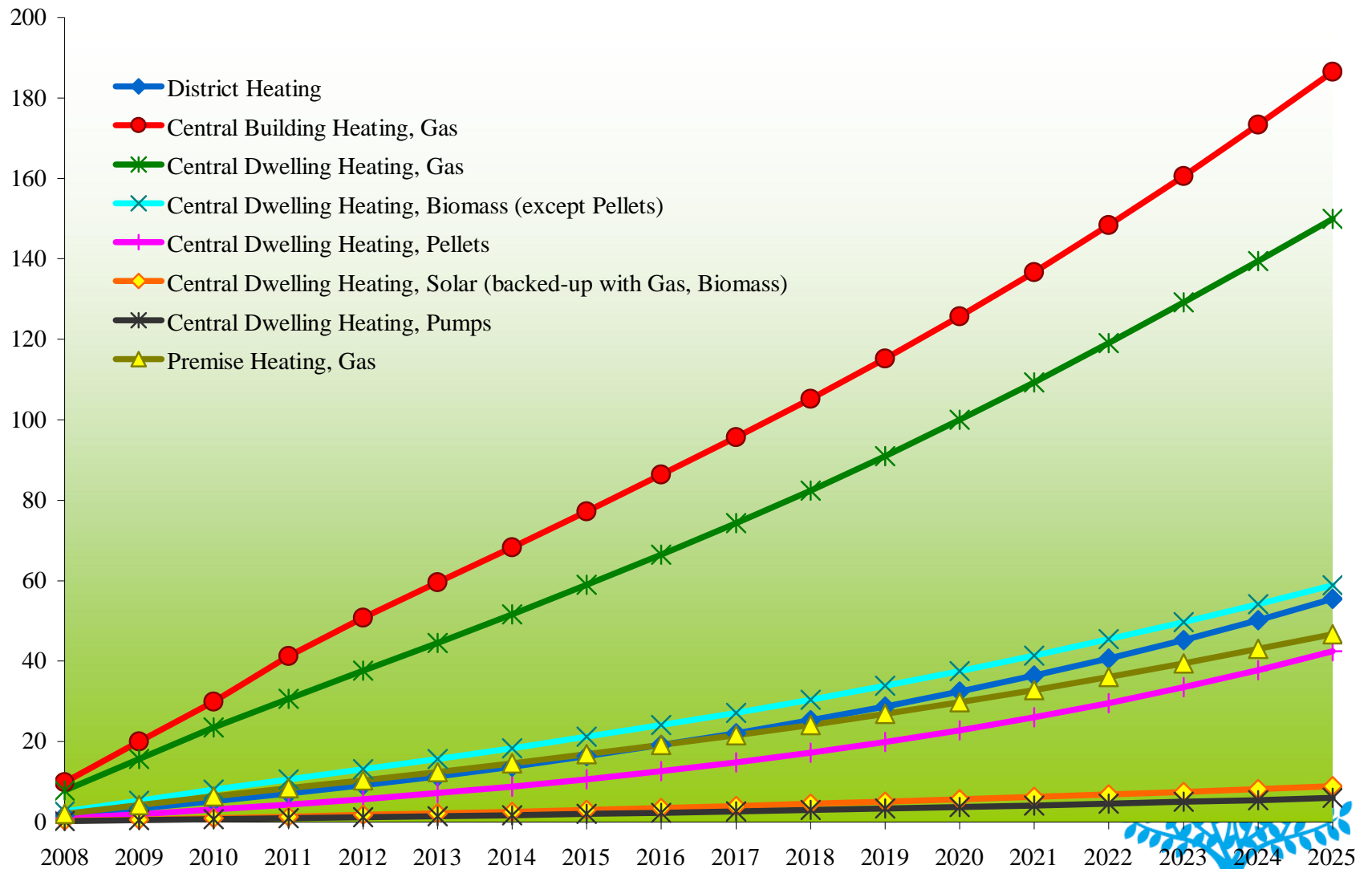


Space heating modes in old single-family houses

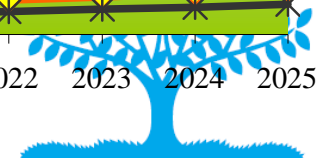


Space heating modes of households in new buildings

Thousand households

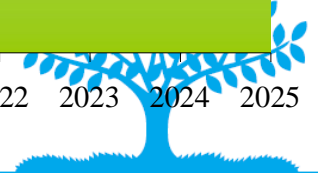
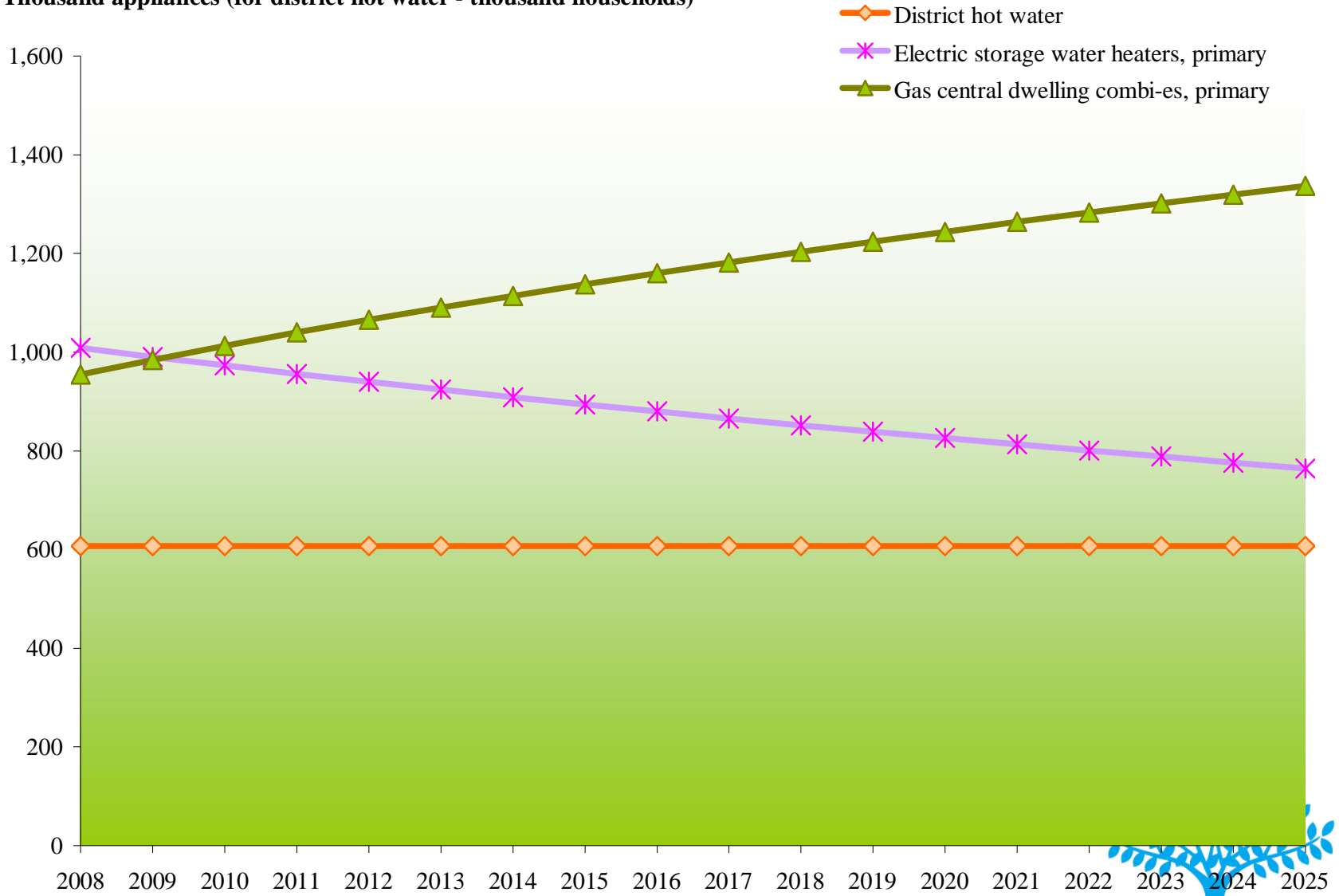


3CSEP



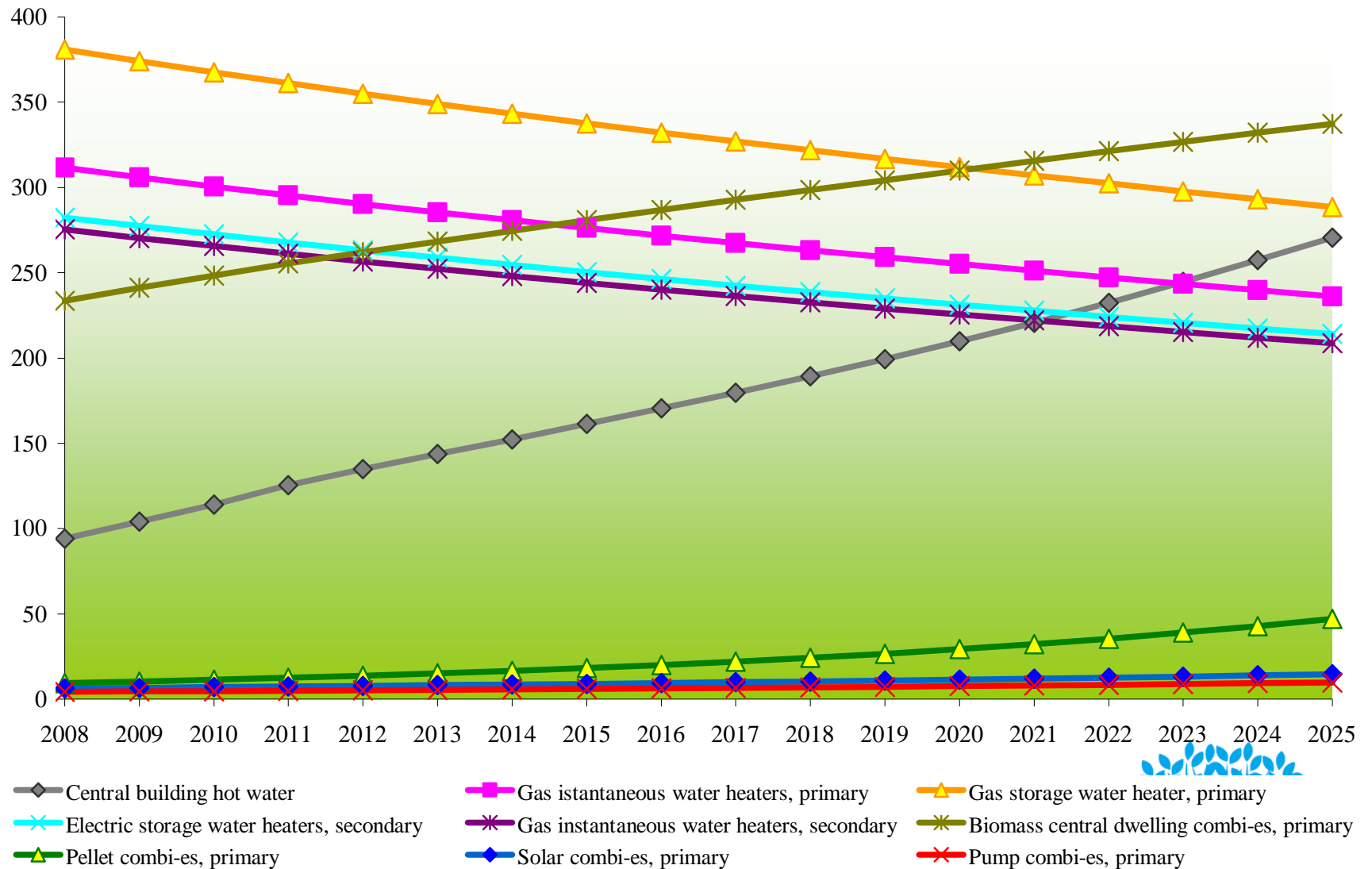
Water heating solutions – the number of systems, top three

Thousand appliances (for district hot water - thousand households)



Water heating solutions – the number of systems, excluding top three

Thousand appliances (for central building hot water - thousand households)

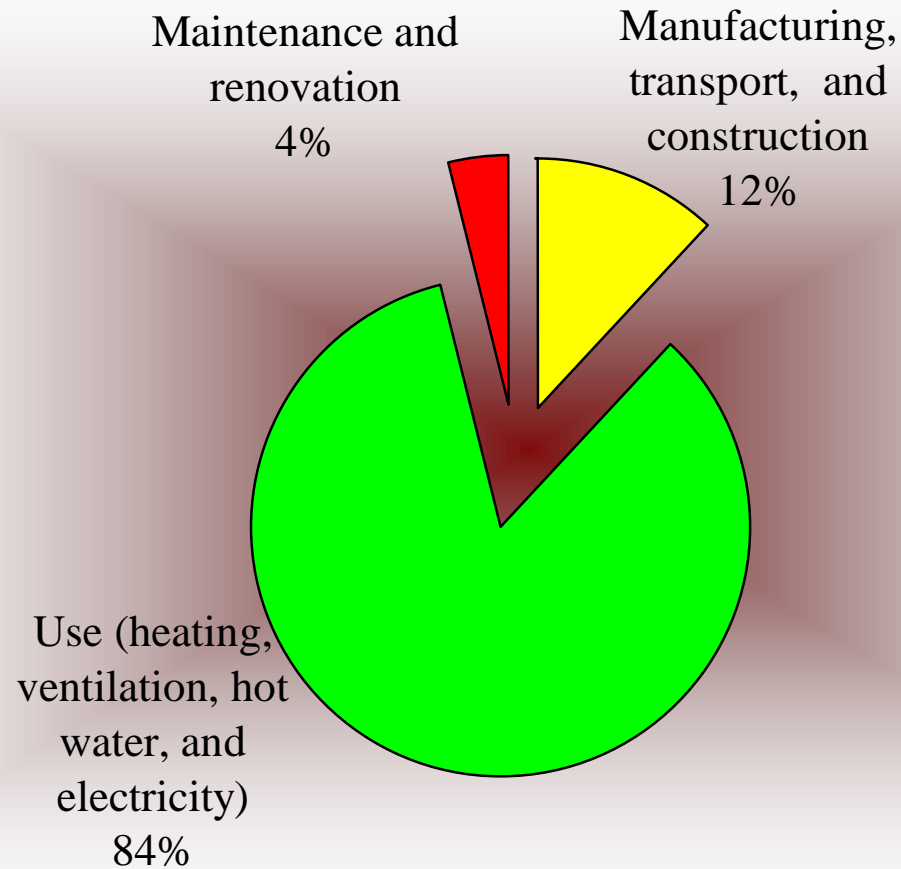


Estimated energy heating requirements of different types of buildings

Types of buildings	Type of heating	Energy heating requirement, kWh/m ²
Old single-family houses	Central dwelling	230
	Premise	299
Households in traditional buildings	Central dwelling	180
	Premise	234
Households in buildings built with the industrialized technology	Central dwelling	200
	Premise	260
Multi-residential buildings and family-houses built during the last fifteen years	Central dwelling	125
	Premise	163
New multi-residential buildings and family-houses	Central dwelling	105
	Premise	137



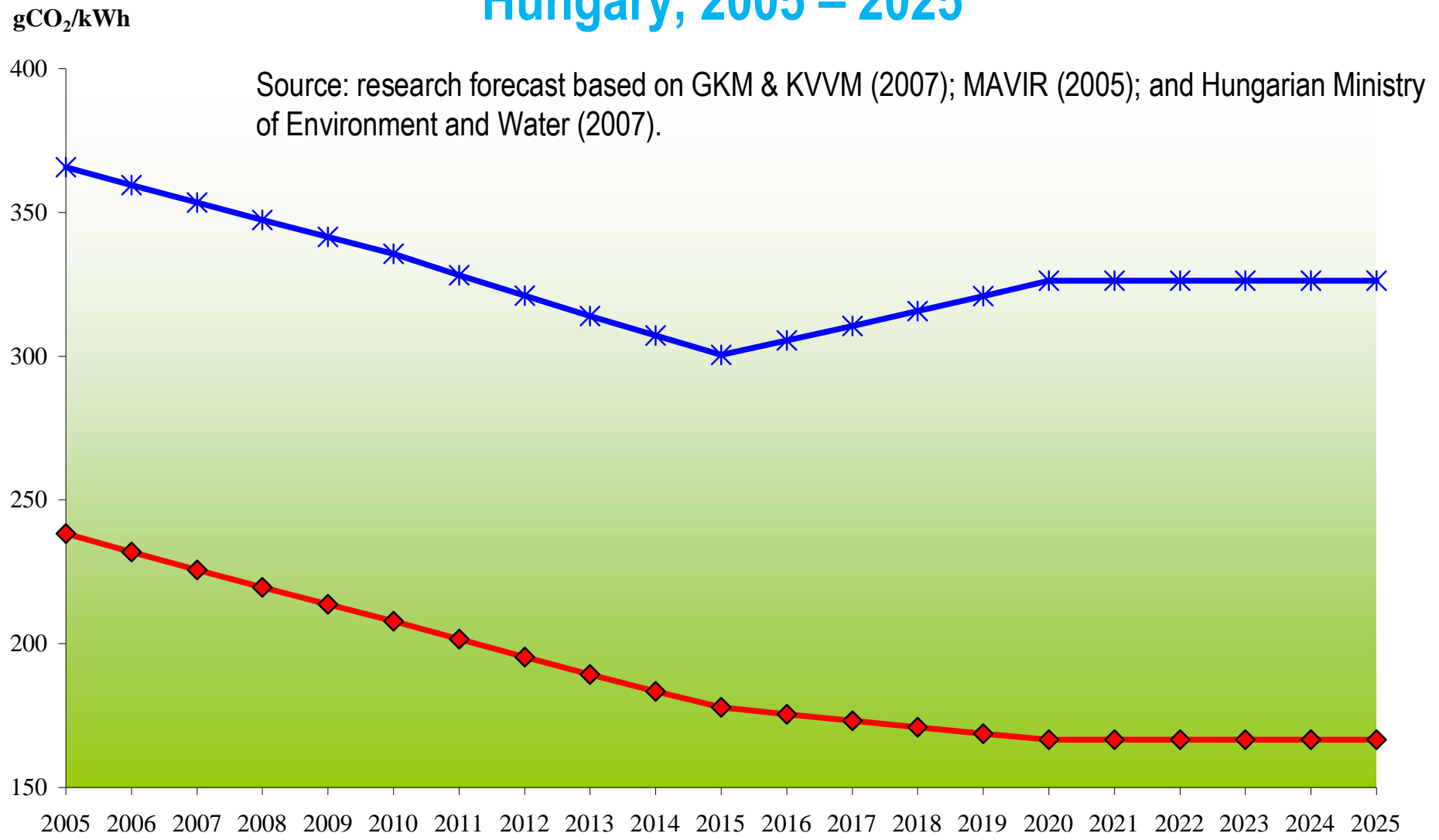
Life cycle energy use in buildings



Source: Adalberth 1997 .



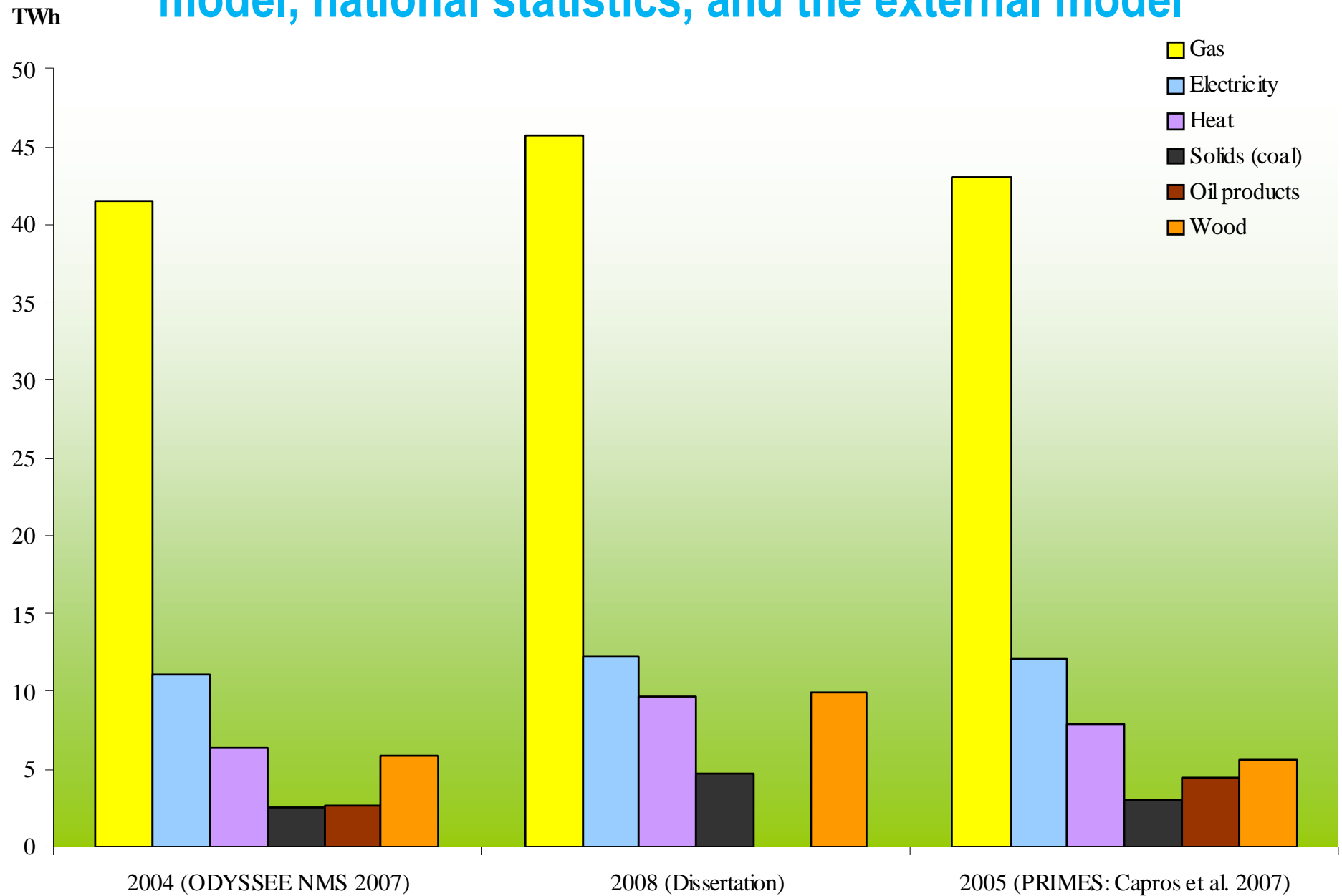
Projected emission factors of electricity and heat in Hungary, 2005 – 2025



◆ Electricity consumed (includes electricity produced domestically and imported, emissions of imported electricity = 0 for Hungary)

◆ Heat delivered by district heat installations and power plants having cogeneration

Comparison of the sectoral energy balance of the research model, national statistics, and the external model



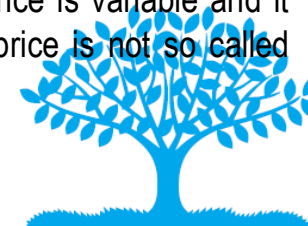
Energy consumption and associated CO₂ emissions: the start year balance and the forecast for 2008 – 2025 according to different sources

	Units	2004	2005	2006	2008	2010	2015	2020	2025
<i>The present dissertation</i>									
Energy consumption	TWh	-	-	-	81.9	82.2	82.7	83.1	84.2
CO ₂ emissions, total	1000 tCO ₂	-	-	-	17.4	17.2	16.5	16.9	17.3
CO ₂ emissions, direct					13.2	13.0	12.6	12.4	12.3
CO ₂ emissions, indirect					4.2	4.1	3.9	4.5	5.0
<i>PRIMES model (Capros et al. 2007)</i>									
Energy consumption	TWh		76.3			85.3	93.6	98.5	101.5
CO ₂ emissions, direct	1000 tCO ₂		10.7			11.0	11.3	11.4	11.3
<i>ODYSSEE NMS database (2007)</i>									
Energy consumption	TWh	69.8	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂ emissions, total	1000 tCO ₂	16.2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Energy Efficiency Action Plan of Hungary (GKM 2008)</i>									
Energy consumption	TWh	-	-	75.7	-	-	-	-	-

Energy prices for the residential end-users of Hungary, December 2007

Fuels	Energy price, EUR/kWh	References
Natural gas	0.044	Hungarian Energy Office 2007a
Agripellet	0.030	Estimate based on (DBO 2007)
Brown coal	0.024	Estimate based on (Hungarian Energy Office 2007b)
Firewood	0.012	Estimate based on (DBO 2007)
District Heat	0.041 ^[1]	Call Centre (FŐTÁV 2007)
Electric energy	0.155	Hungarian Energy Office 2007c

[1] To be consistent across the methodologies of estimation of energy saving costs of space heating options, it is considered that the district heat price is 100% flexible. In practice, only half of the district heat price is variable and it depends on heat consumption of a building distributed among heat payers. Another half of the price is not so called 'capacity cost' and is variable (Sigmond 2007).



Potential available through application of options installed separately, 2025 *cont.*

Mitigation measure	CO ₂ savings	Costs of mitigated CO ₂	Energy savings	Costs of energy savings
	Thousands tonnes CO ₂ /yr.	EUR/tCO ₂	GWh/yr.	EUR/kWh
Buildings constructed using industrialized technology				
Installation of thermostatic radiator valves	89	-240	529	0.01
Wall insulation	332	-115	1931	0.03
Installation of condensing gas central building boilers for space heating	6	-97	30	0.04
Window exchange	236	-81	1369	0.04
Basement insulation	19	109	110	0.07
Roof insulation	38	161	219	0.08
Individual metering of district and central heating	177	203	1057	0.09
Traditional buildings				
Installation of thermostatic radiator valves	26	-249	131	0.01
Installation of programmable thermostats	68	-183	335	0.02
Installation of condensing central building gas boilers for space heating	35	-91	171	0.04
Roof insulation	90	-61	449	0.04
Basement insulation	58	-54	290	0.05
Individual metering of consumed district and central heat	51	-1	263	0.06
Window exchange	399	-21	1987	0.05
Installation of condensing central gas dwelling boilers for space heating	169	86	837	0.07

Potential available through application of options installed separately, 2025

Mitigation measure	CO ₂ savings	Costs of mitigated CO ₂	Energy savings	Costs of energy savings
	Thousands tonnes CO ₂ /yr.	EUR/tCO ₂	GWh/yr.	EUR/kWh
Old single-family houses (constructed before 1992)				
Installation of programmable thermostats	255	-213	1261	0.01
Roof insulation	1172	-60	5173	0.04
Wall insulation	1500	-56	6620	0.04
Basement insulation	757	-54	3340	0.04
Weather stripping of windows	4073	27	1447	0.30
Installation of pellets boilers for water and space central dwelling heating	1067	21	4709	0.06
Window exchange	528	54	1347	0.05
Installation of solar collectors for water heating backed up with pellet boilers for water and space central dwelling heating	4073	82	6348	0.13
Installation of condensing gas boiler for water and space central dwelling heating	1381	134	3206	0.08
Installation of pumps for water and space central dwelling heating	3093	110	14778	0.05
Buildings constructed after 2008				
Application of passive energy design	697	9	4651	0.05



Potential available through application of options installed separately, 2025 *cont.*

Mitigation measure	CO ₂ savings	Costs of mitigated CO ₂	Energy savings	Costs of energy savings
	Thousands tonnes CO ₂ /yr.	EUR/tCO ₂	GWh/yr.	EUR/kWh
Appliances and lights				
Exchange of incandescent lamps with CFLs	305	-589	935	0.01
Reduction of electricity consumption by TV and PC-related equipment in low power and off - modes	266	-582	815	0.01
Efficient freezers	67	-391	206	0.07
Efficient refrigerators	107	-297	328	0.11
Efficient clothes washing machines	54	-275	167	0.11
Water heating				
Installation of water saving fixtures on dedicated water heating appliances and water heaters linked to boilers	263	-508	1231	0.00
Installation of water saving fixtures in households with central district hot water	400	-354	1942	0.00
Improved combi- space and water heating systems and dedicated water heating appliances	217	-28	420	0.14



Potential and costs of CO₂ mitigation estimated with the supply curve method, 2025 *cont.*

Rank	Measure	CO ₂ savings in 2025	Cost of mitigated CO ₂	Energy savings in 2025	Investments 2008-2025	Saved energy costs
		1000t CO ₂ /yr.	EUR/tCO ₂	GWh/yr.	Million EUR	Million EUR
1	Exchange of incandescent bulbs with CFLs	305	-589	935	73	551
2	Reduction of electricity consumption of TV and PC-related equipment in low power and off - modes	266	-582	815	20	391
3	Installation of water saving fixtures in households with district and central hot water	263	-508	1231	501	868
4	Efficient freezers	67	-391	206	239	245
5	Installation of water saving fixtures on dedicated water heating appliances and water heaters linked to boilers	400	-354	1942	78	1905
6	Efficient refrigerators	107	-297	328	103	1637
7	Efficient clothes washing machines	54	-275	167	126	2892
8	Installation of TRVs in households of traditional multi-residential buildings	26	-249	131	13	66
9	Installation of TRVs in households of buildings constructed using industrialized technology	89	-240	529	80	258
10	Installation of programmable thermostats old single-family houses (constructed before 1992)	255	-213	1261	204	654
11	Installation of programmable thermostats in households of traditional multi-residential buildings	68	-183	335	95	167

Potential and costs of CO₂ mitigation estimated with the supply curve method, 2025 *cont.*

Rank	Measure	CO ₂ savings in 2025	Cost of mitigated CO ₂	Energy savings in 2025	Investments 2008-2025	Saved energy costs
		1000t CO ₂ /yr.	EUR/tCO ₂	GWh/yr.	Million EUR	Million EUR
13	Installation of central building condensing gas boilers for space heating in households of traditional multi-residential buildings	31	-70	154	76	77
14	Roof insulation of old single-family houses (constructed before 1992)	1127	-51	4948	2858	2327
15	Window exchange in buildings constructed using industrialized technology	205	-47	1190	760	825
16	Roof insulation of traditional multi-residential buildings	83	-42	413	276	208
17	Improved combi- space and water heating systems and dedicated water heating appliances	217	-28	420	50	1536
18	Basement insulation of traditional multi-residential buildings	50	-16	248	166	125
19	Wall insulation of old single-family houses (constructed before 1992)	1160	-0.4	5092	3753	2394
20	Application of passive energy design to single-family and multi-residential buildings constructed from 2008	697	9	4651	3927	1841
21	Window exchange in traditional multi-residential buildings	326	38	1626	1448	818
22	Base insulation of old single-family houses (constructed before 1992)	439	80	1926	1905	905

Potential and costs of CO₂ mitigation estimated with the supply curve method, 2025 *cont.*

Rank	Measure	CO ₂ savings in 2025	Cost of mitigated CO ₂	Energy savings in 2025	Investments 2008-2025	Saved energy costs
		1000t CO ₂ /yr.	EUR/tCO ₂	GWh/yr.	Million EUR	Million EUR
23	Installation of pellets boilers for central dwelling space heating and water heating in old single-family houses (constructed before 1992)	702	92	258	1336	574
24	Installation of pumps for central dwelling space heating and water heating in old single-family houses (constructed before 1992)	386	136	1877	1744	1531
25	Installation of central building condensing gas boilers for space heating of households in buildings constructed using industrialized technology	2	216	11	607	741
26	Installation of solar collectors backed-up with pellet boilers for central dwelling space heating and water heating in old single-family houses (constructed before 1992)	511	300	818	2488	600
27	Installation of condensing gas boilers for central dwelling space heating in old single-family houses (constructed before 1992)	359	467	773	2109	188
28	Individual metering of consumed district and central heat in households of traditional multi-residential buildings	17	558	90	169	59
29	Base insulation of buildings constructed using industrialized technology	8	743	43	131	20

Potential and costs of CO₂ mitigation estimated with the supply curve method, 2025 *cont.*

Rank	Measure	CO ₂ savings in 2025	Cost of mitigated CO ₂	Energy savings in 2025	Investments 2008-2025	Saved energy costs
		1000t CO ₂ /yr.	EUR/tCO ₂	GWh/yr.	Million EUR	Million EUR
30	Weather stripping of windows in old single-family houses (constructed before 1992)	64	746	419	1367	744
31	Installation of central dwelling condensing gas boilers for space heating in households of traditional multi-residential buildings	56	829	278	715	177
32	Roof insulation of buildings constructed using industrialized technology	15	897	85	340	40
33	Individual metering of district and central heat in households of buildings constructed using industrialized technology	65	1113	386	1062	284



Comparison of the dissertation results to other research in the region

Country/ region	Source	CO ₂ mitigation potential as share of the baseline emission projections in cost categories (costs in USD/tCO ₂)				Discount rate	Target year	Sectoral coverage
		<0	0-20	20-100	>100			
Hungary	Dissertation	29%	4%	8%	9%	6%	2025	Residential
		35%	3%	0.0%	6%	4%	2025	
		19%	3%	0.3%	11%	8%	2025	
Economies in transition	Levine <i>et al.</i> 2007	29%	12%	23%	n/a	Aggregated results of studies which used 3%-10%	2020	Residential & commercial
Developed countries		27%	3%	2%	n/a		2020	
Hungary	Szlavik <i>et al.</i> 1998	31%	9%	0%	5%	5%	2030	Residential & commercial
EU-15	Joosen and Blok 2001	11%	6%	2%	3%	4%	2010	Residential

Sensitivity analysis of mitigation costs

- ❖ Discount rates: 4% and 8%
- ❖ Energy price forecast
 - ❖ A 35% natural gas price increase by the end of 2008 -> other fuel and energy prices also change
 - ❖ After 2008, an increase of all fuel and energy prices by 1.5%/yr.

