

# Udział atmosferycznego transportu zanieczyszczeń w eutrofizacji Bałtyku

Jerzy Bartnicki

07.11.2019, Wrocław







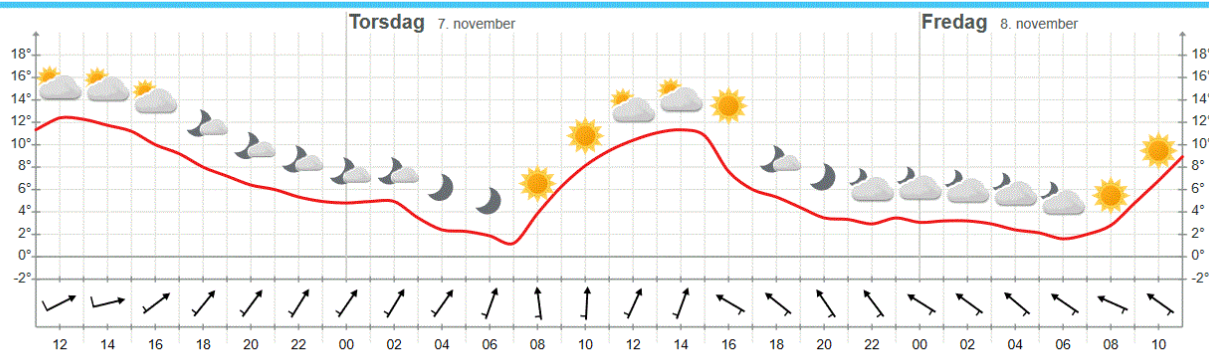
Norweski Instytut Meteorologiczny powstał na wiosnę w roku 1866 jako część uniwersytetu w Oslo decyzją parlamentu i dekretem królewskim.

Darmowe dane i prognoza pogody na cały świat: [www.yr.no](http://www.yr.no)

Około 60 pracowników naukowych. Dział naukowy jest finansowany w 70% ze środków zewnętrznych.

Dyrektor naukowy: prof. Øystein Hov

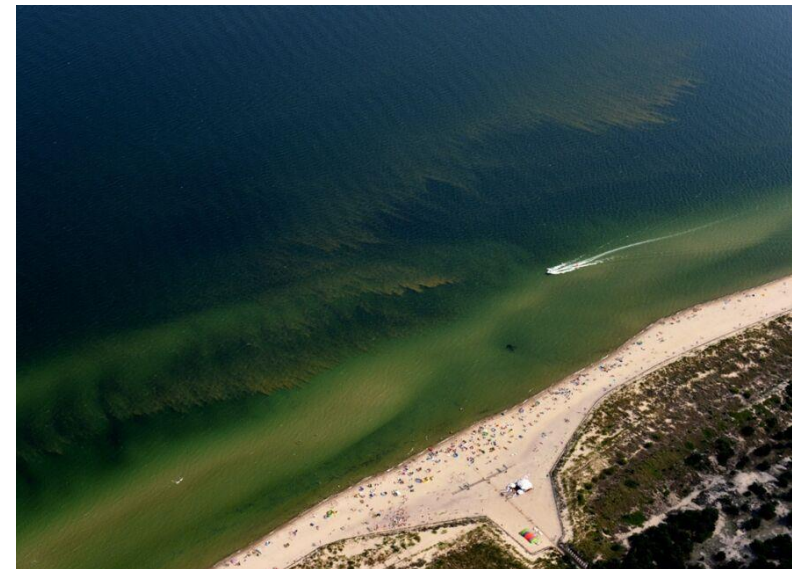
Meteogram, neste 48 timer



Nedbørssøylene viser maks- og minverdier for nedbør per time. [Les mer](#)



- Eutrofizacja jest jednym z głównych problemów w ochronie środowiska wód Bałtyku
- Powoduje zakwitanie glonów, obniżenie poziomu tlenu i zagraża zwierzętom morskim
- Przyczyną eutrofizacji wód Bałtyku jest nadmierny ładunek substancji biogenych, a przede wszystkim azotu i fosforu
- Fosfor transportowany jest do Bałtyku w większości drogą wodną (>95%) - rzekami i ściekami bezpośrednimi
- Natomiast 20-40% azotu deponowane jest na wodach Bałtyku z powietrza.
- Problemem tym zajmuje się intensywnie HELCOM (Baltic Marine Environment Protection Commission - Helsinki Commission)

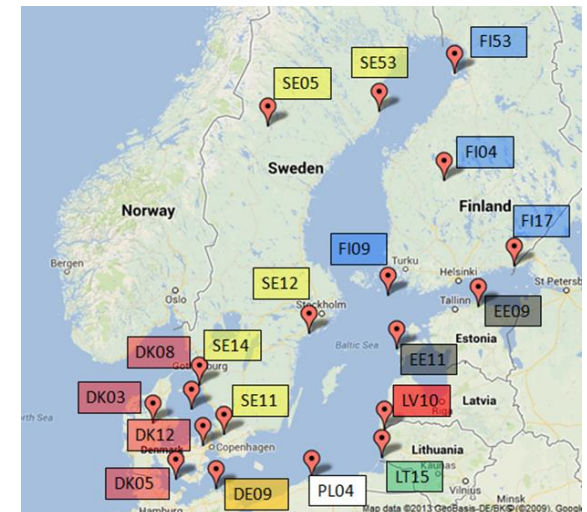
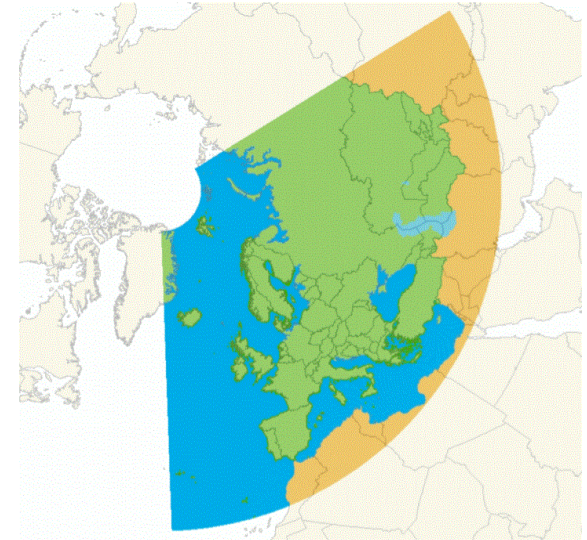




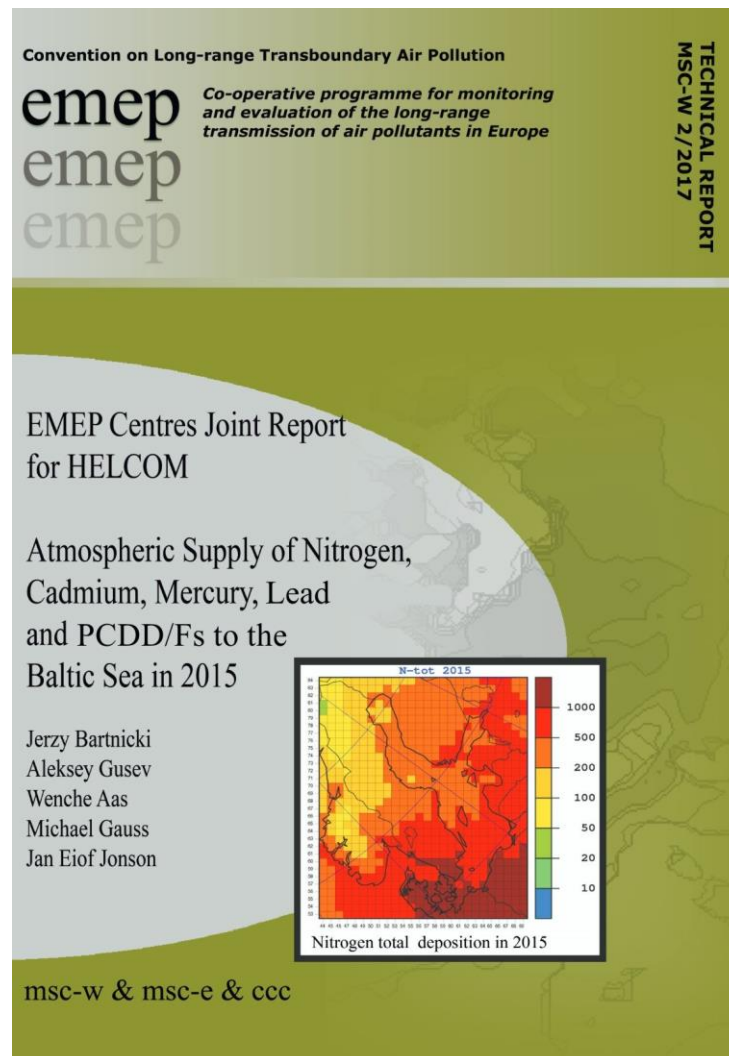
- HELCOM jest ciałem wykonawczym i zarządzającym Konwencji Helsińskiej - Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area (Helsinki Convention)
- Stronami tej konwencji są państwa położone nad Bałtykiem oraz Unia Europejska: Dania, Estonia, Finlandia, Litwa, Łotwa, Niemcy, Polska, Rosja, Szwecja i Unia Europejska
- HELCOM powołany został do ochrony Bałtyku i od początku swej działalności monitoruje ładunki fosforu i azotu do jego wód, na podstawie pomiarów i modelowania.
- Depozycja atmosferyczna azotu obliczana jest corocznie w Meteorologicznym Centrum – Zachod EMEPu w Oslo, w ramach długookresowej współpracy z HELCOMem



- EMEP to nieoficjalnie: European Monitoring and Evaluation Programme. Oficjalna nazwa to: The co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe
- EMEP jest programem naukowym stworzonym dla potrzeb konwencji Genewskiej CLRTAP (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) powołanej do rozwiązywania problemów związanych z transgranicznym transportem zanieczyszczeń powietrza, we współpracy międzynarodowej.
- W ramach EMEPu działa pięć ośrodków naukowych (EMEP Centres): CEIP (Centre on Emission Inventories and Projections), CCC (Chemical Coordination Centre), MSC-W (Meteorological Synthesizing Centre – West), MSC-E i CIAM (Centre for Integrated Assessment Modelling)



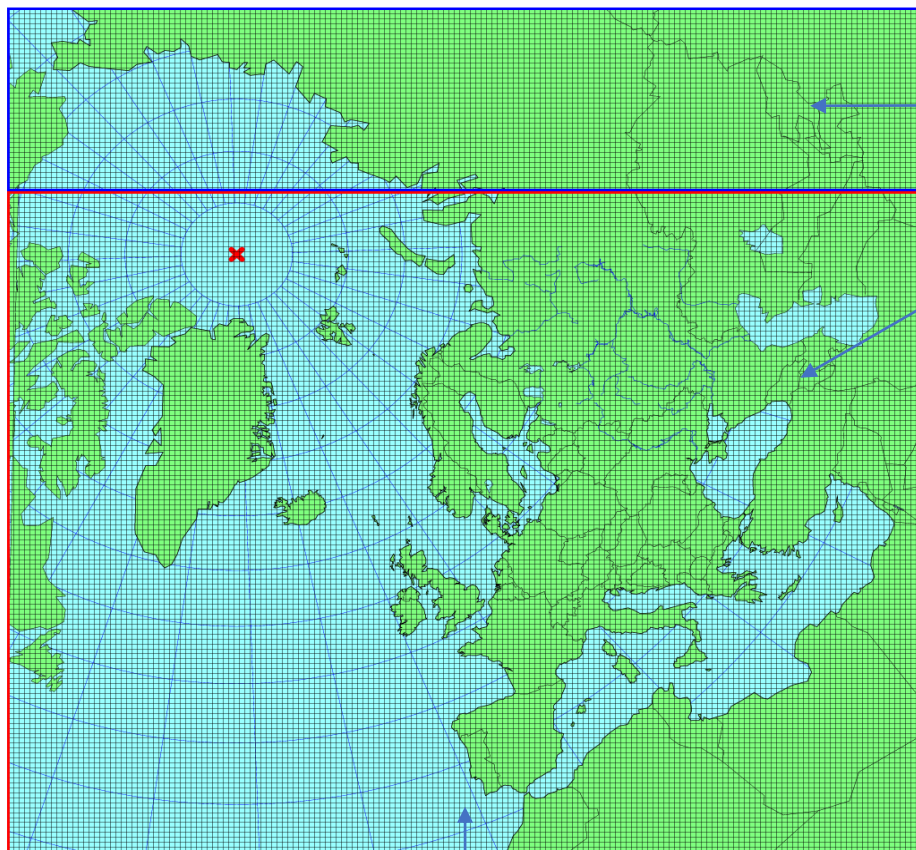
- Celem jest określenie corocznych ładunków zanieczyszczeń atmosferycznych do basenu Bałtyku
- Początkowo ładunki zanieczyszczeń do basenu Morza Bałtyckiego szacowane były wyłącznie na podstawie pomiarów stężeń i depozycji
- Od roku 1997, depozycje zanieczyszczeń obliczane są przy pomocy modeli transportu. Modele te umożliwiają też obliczenie wkładu poszczególnych źródeł emisji w depozycję całkowitą. Coroczny raport i prezentacja dla HELCOMu.
- MSC-W: Koordynacja, depozycja azotu, edycja corocznego raportu
- MSC-E: Depozycja metali ciężkich i trwałych związków organicznych
- CCC: Analiza pomiarów na stacjach HELCOMu
- CEIP: uaktualnione emisje zanieczyszczeń
- Publikacje w czasopismach naukowych



- Trójwymiarowy model eulerowski atmosferycznego transportu zanieczyszczeń
- Zanieczyszczenia: związki siarki i azotu, ozon, pyły, aerozole (stężenia i depozycje)
- Procesy: emisja, adwekcja, dyfuzja turbulencyjna, konwekcja, przemiany chemiczne i fazowe, sucha i mokra depozycja
- 20 poziomów w pionie we współrzędnych sigma
- Zmienny obszar obliczeń i zmienna rozdzielczość pozioma
- Emisje roczne: SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC, NH<sub>3</sub>, CO, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and PM coarse in 0.1° x 0.1° (long-lat)
- Meteorologia z numerycznego modelu prognozy pogody ECMWF w Reading
- Coroczna weryfikacja modelu na danych pomiarowych
- „State of the art.” model

Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R., Emberson, L. D., Fagerli, H., Hayman, G. D., Gauss, M., Jonson, J. E., Jenkin, M. E., Nyíri, A., Richter, C., Semeena, V. S., Tsyro, S., Tuovinen, J.-P., Valdebenito, A., and Wind, P.: The EMEP MSC-W chemical transport model – technical description, *Atmos. Chem. Physics*, 12, 7825–7865, doi:10.5194/acp-12-7825-2012, 2012.



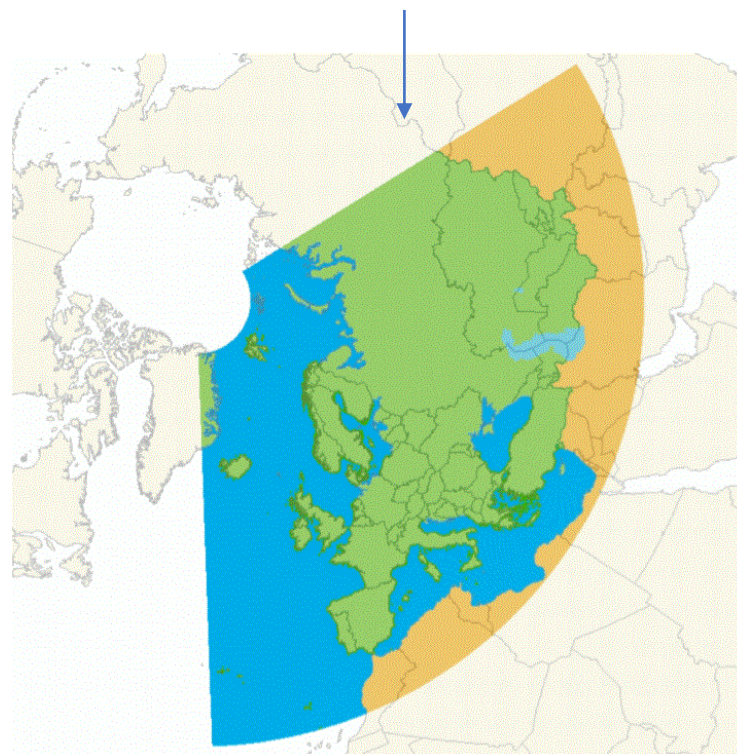


Rozszerzenie 2007 - 2015

Lata 1995 – 2007 (50 km × 50 km, 60° N)

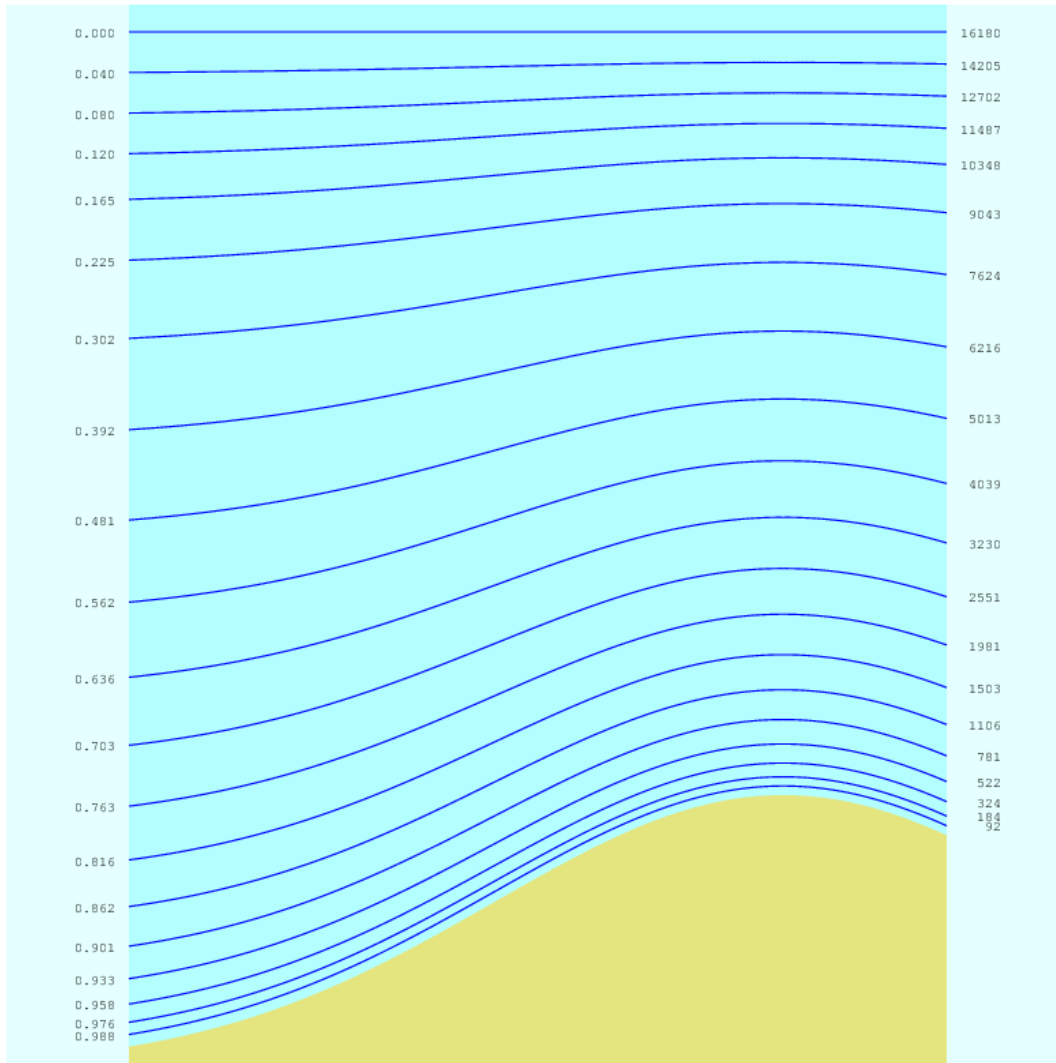
Lata 2016 – 2017 in 0.1° × 0.1° (long-lat)

Polar Stereographic Projection true at 60°N





$$\frac{\partial}{\partial t}(\chi p^*) = -m_x m_y \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{u}{m_y} \chi p^* \right) - m_x m_y \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{v}{m_x} \chi p^* \right) - \frac{\partial}{\partial \sigma} (\dot{\sigma} \chi p^*) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ K_\sigma \frac{\partial}{\partial \sigma} (\chi p^*) \right] + \frac{p^*}{\rho} S$$



$$\sigma = \frac{p - p_T}{p^*}$$

$$p^* = p_S - p_T$$

Name	Unit	Type <sup>a</sup>	Main Purpose	Notes
3-D fields – for 20 $\sigma$ levels:				
Horizontal wind velocity components	$\text{m s}^{-1}$	Inst.	Advection	
Specific humidity	$\text{kg kg}^{-1}$	Inst.	Chemical reactions, dry deposition	
Potential temperature	K	Inst.	Chemical reactions, eddy diffusion	
Precipitation	mm	Acc.	Wet and dry deposition	b
Cloud cover	%	Avg.	Wet removal, photolysis	
Vertical wind in $\sigma$ coordinates	$\text{s}^{-1}$	Inst.	Vertical advection	
Convective updraft flux	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Avg.	Vertical transport, wet removal	d
Convective downdraft flux	$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Avg.	Vertical transport, wet removal	d
2-D fields – for surface:				
Surface pressure	hPa	Inst.	Air density, definition of vertical levels	
Temperature at 2m height	K	Inst.	Dry deposition, stability	
Surface flux of sensible heat	$\text{W m}^{-2}$	Inst.	Dry deposition, stability	
Surface flux of latent heat	$\text{W m}^{-2}$	Inst.	Dry deposition	
Surface stress or friction velocity	$\text{N m}^{-2}$ or $\text{m s}^{-1}$	Inst.	Dry deposition, stability	
Snow depth	m	Inst.	Dry deposition	
Fraction of ice cover	%	Inst.	Dry deposition	
Sea surface temperature	K	Inst.	Sea salt	e
10-m wind-speed	$\text{m s}^{-1}$	Inst.	Sea-salt	f
Soil water, near surface	–	Inst.	Dust emissions	g
Soil water, root zone	–	Inst.	Dry deposition	g

<sup>a</sup> Types refer to time-averaging of data: Inst=instantaneous, Acc = accumulated (over 3 h), Avg = averaged (over 3 h); <sup>b</sup> these data are frequently not available from NWP models as 3-D fields. If unavailable, 3-D precipitation is derived from surface precipitation – see Supplement, Sect. S3.1; <sup>c</sup> if not available, calculated, see Sect. S3.2; <sup>d</sup> the convective routine is optional in the model, but if switched on these parameters are required; <sup>e</sup> 2-m temperature,  $T_2$ , used if not available; <sup>f</sup> calculated from 3-D winds if not available; <sup>g</sup> See Sect. 3.3. If not available, soils assumed to be moist.



Sector 1	Combustion in energy and transformation industry
Sector 2	Non-industrial combustion plants
Sector 3	Combustion in manufacturing industry
Sector 4	Production processes
Sector 5	Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy
Sector 6	Solvent and other product use
Sector 7	Road transport
Sector 8	Other mobile sources and machinery (including ship traffic)
Sector 9	Waste treatment and disposal
Sector 10	Agriculture
Sector 11	Other sources and sinks

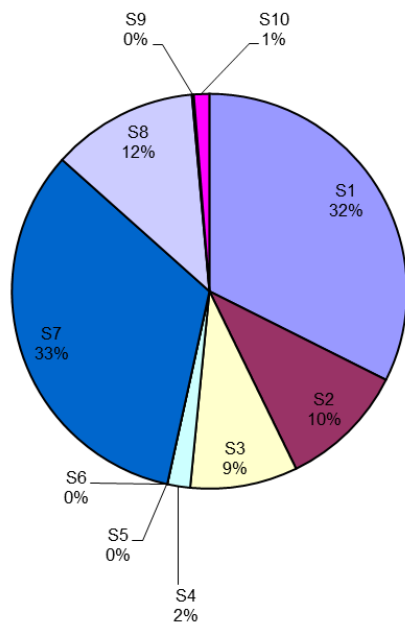
Combustion = S1 + S2 + S3

Transportation = S7 + S8

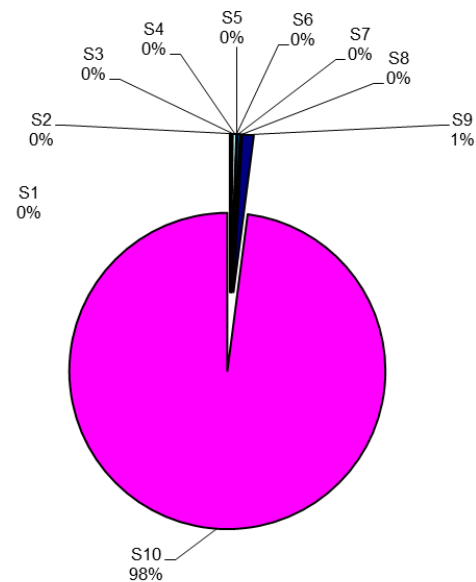
Agriculture = S9

REST= S4 + S5 + S6 + S9 + S11

## Polska - NOx



## Polska – NH3

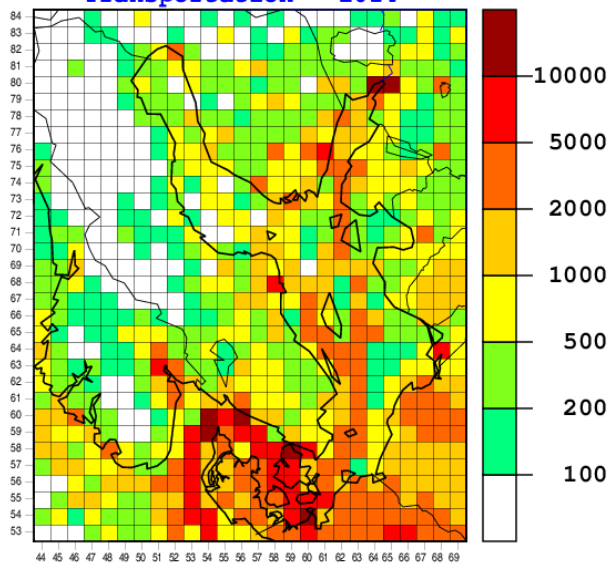




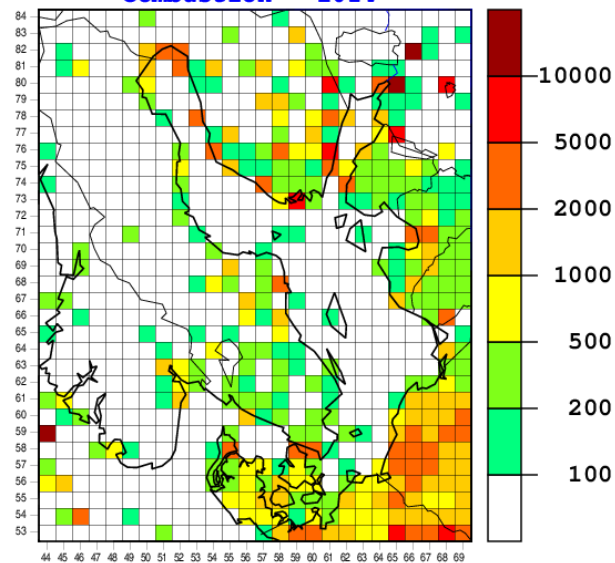
# ŹRÓDŁA EMISJI AZOTU



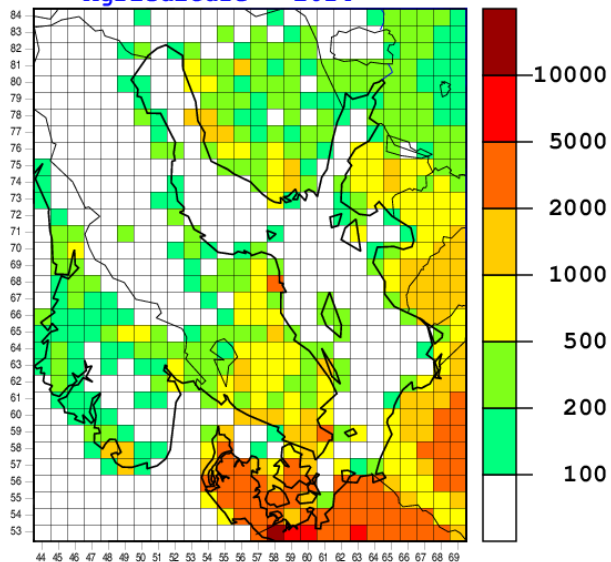
### Transportation - 2014



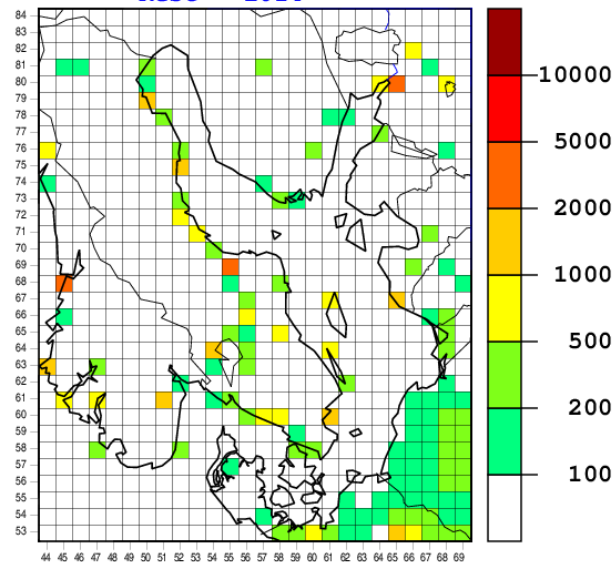
### Combustion - 2014



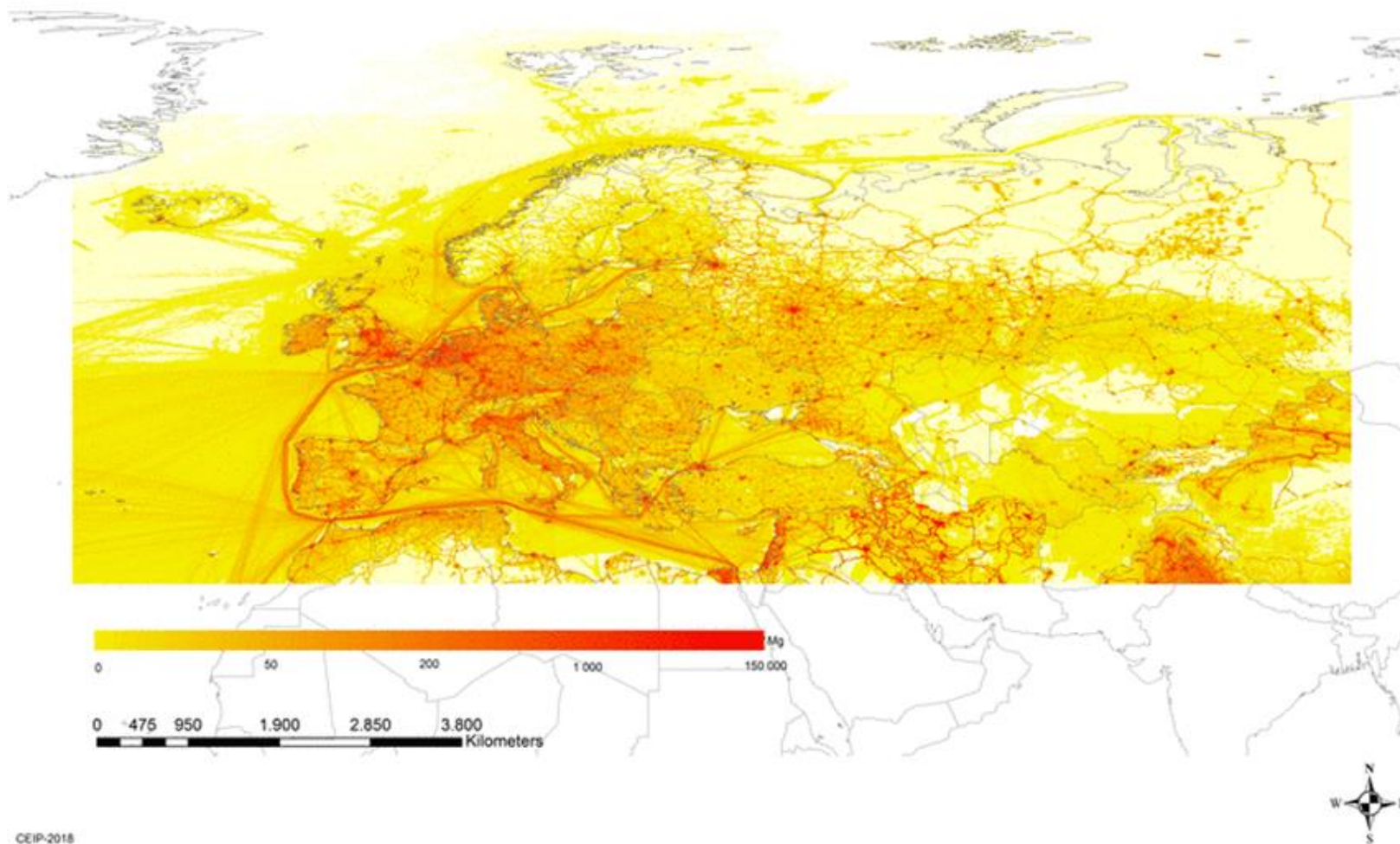
### Agriculture - 2014



### Rest - 2014

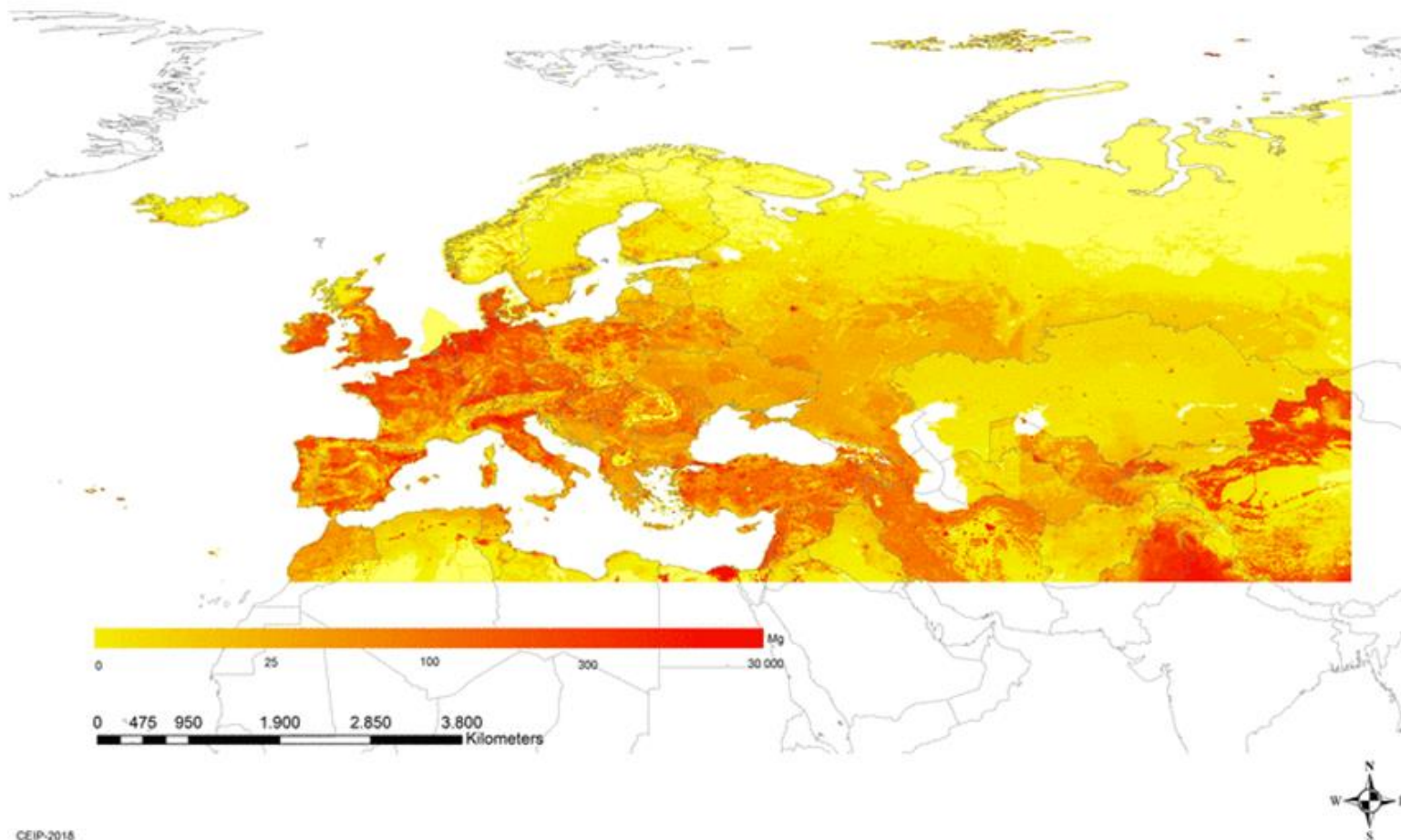


## NO<sub>x</sub> - National Total - 2016





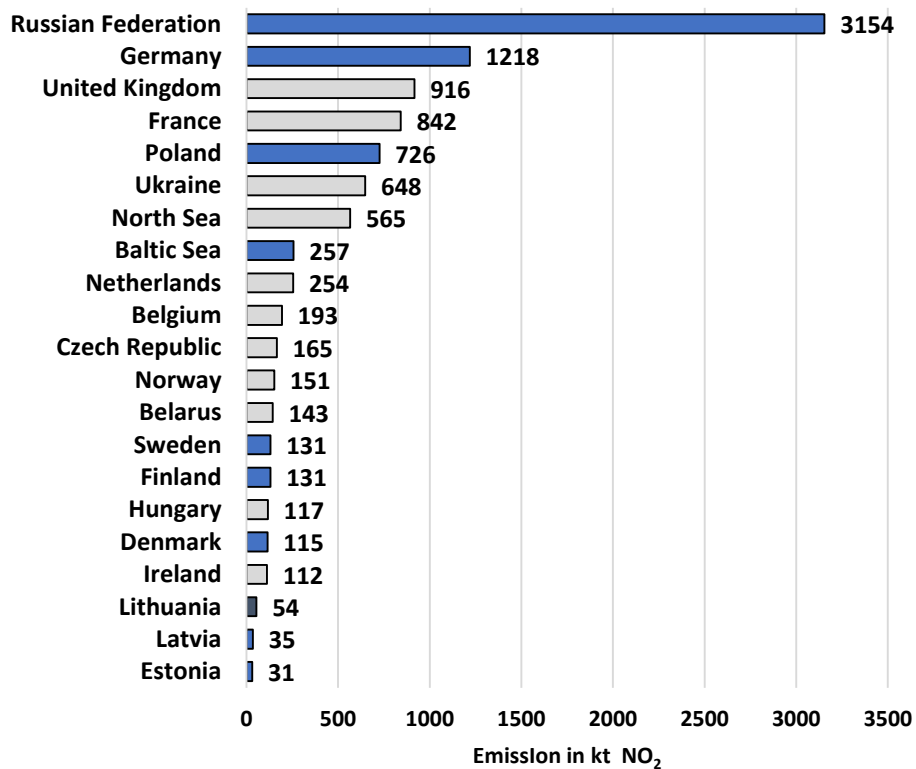
NH<sub>3</sub> - National Total - 2016



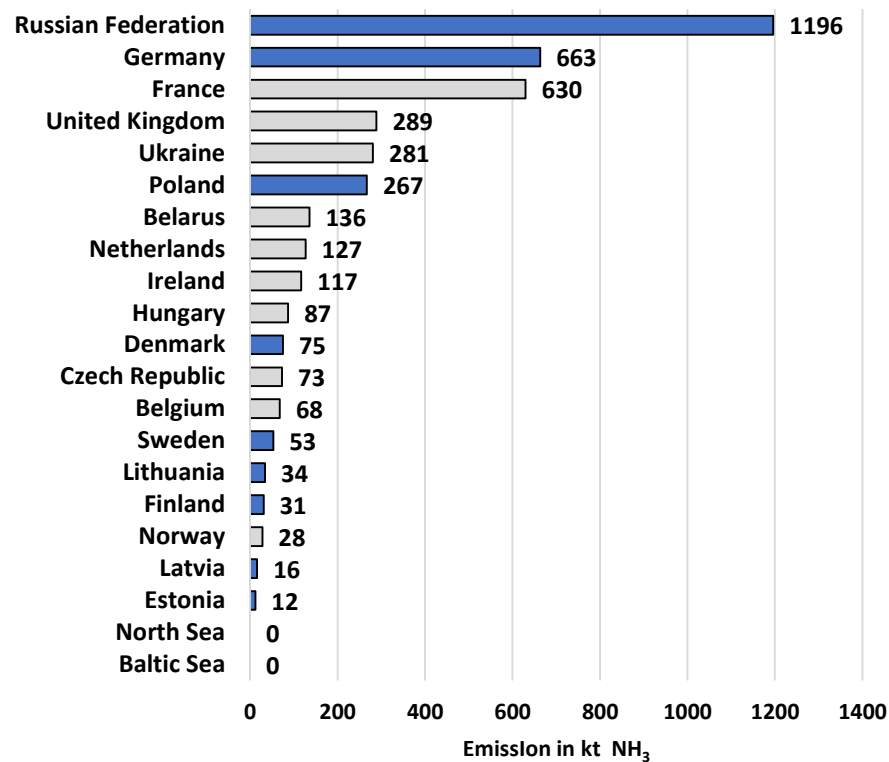
# RANKING ŹRÓDEŁ EMISJI ROCZNYCH - 2016



## Nitrogen oxides

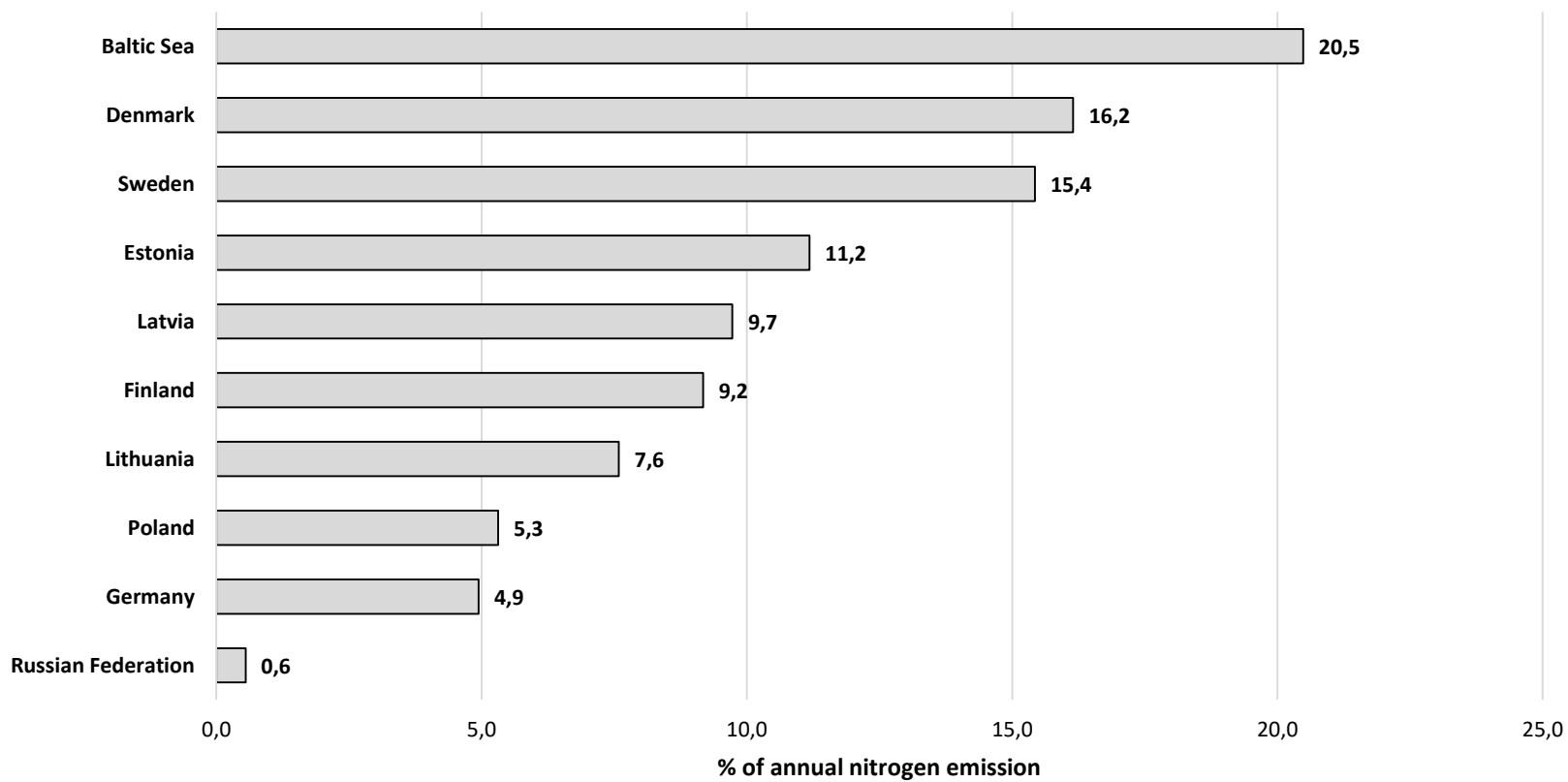


## Ammonia



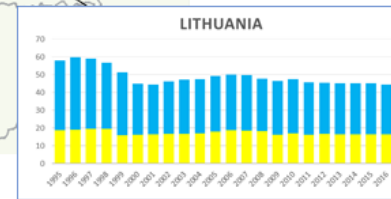
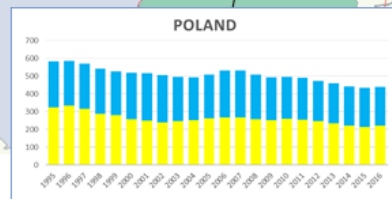
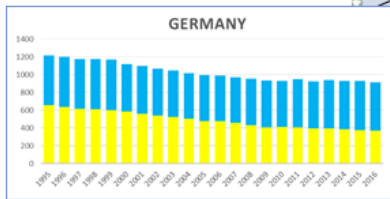
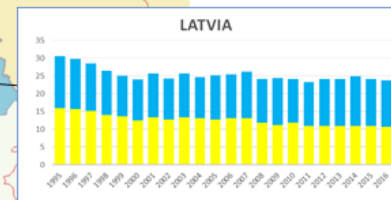
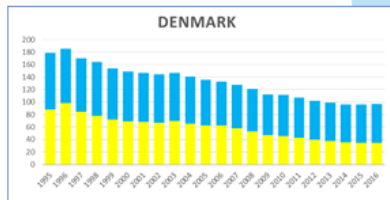
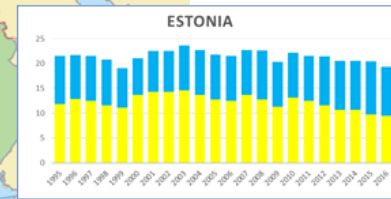
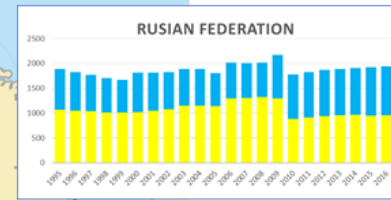
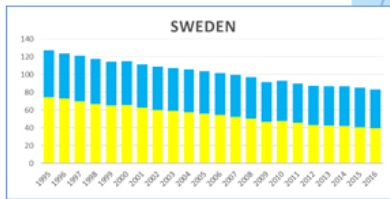
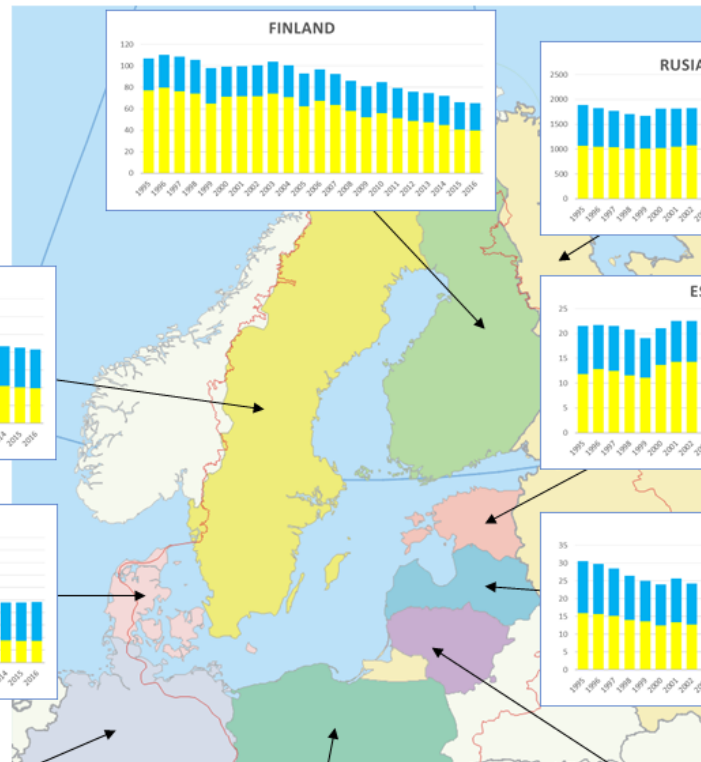


# PROCENT EMISJI AZOTU ZDEPONOWANEJ DO BAŁTYKU - 2016



NOx: -48%  
NH3: -13%

■ - NOx  
■ - NH3



NOx: -10%  
NH3: +21%

NOx: -20%  
NH3: +1%

NOx: -13%  
NH3: -10%

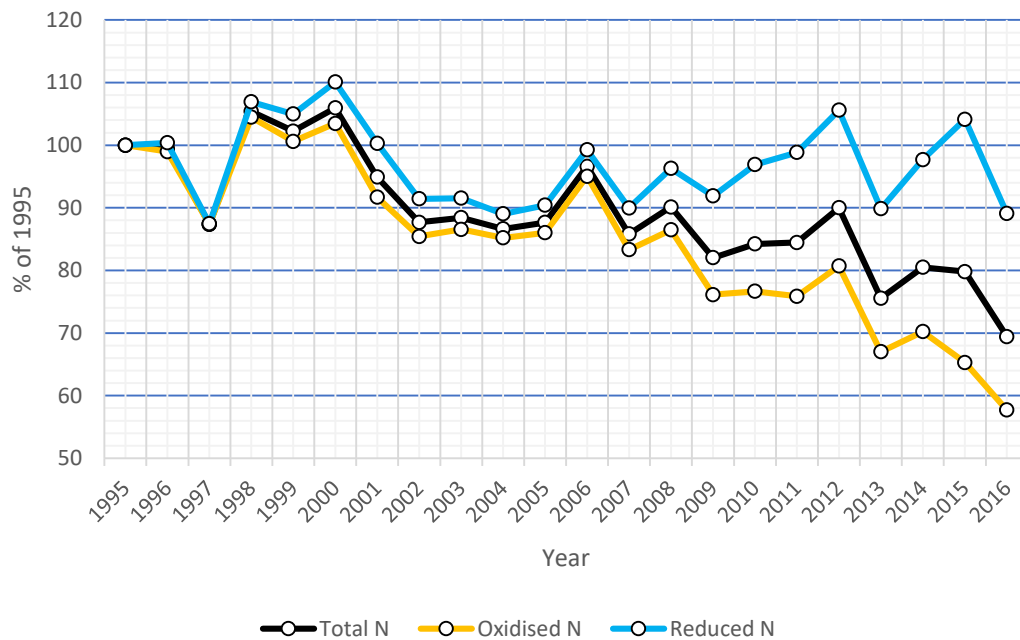
NOx: -32%  
NH3: +28%

NOx: -32%  
NH3: -16%

NOx: -47%  
NH3: -17%

NOx: -60%  
NH3: -32%

NOx: -44%  
NH3: -2%



Depozycje 2016 vs. 1995

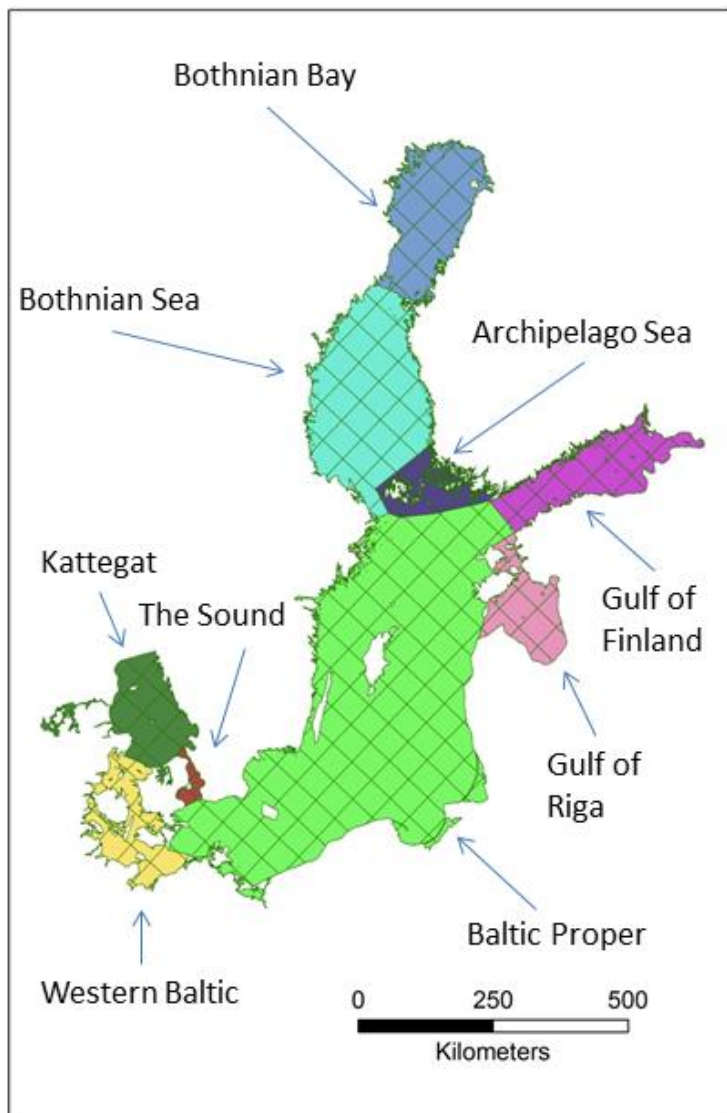
N-ox: -42%

N-rd: -11%

N-tot: -31%

Duża zmienność z roku na rok





Sub-basin	Abbreviation	Area in km <sup>2</sup>
Archipelago Sea	ARC	13405
Baltic Proper	BAP	209258
Bothnian Bay	BOB	36249
Bothnian Sea	BOS	65397
Gulf of Finland	GUF	29998
Gulf of Riga	GUR	18646
Kattegat	KAT	23659
The Sound	SOU	2328
Western Baltic	WEB	18647
Baltic Sea basin	BAS	417587

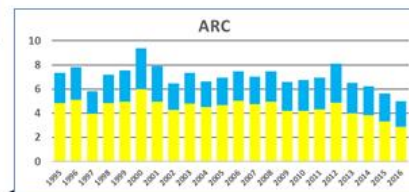
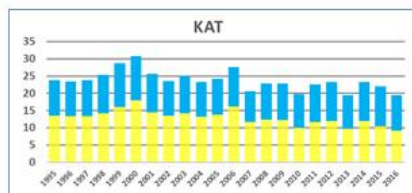
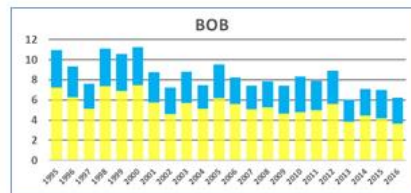
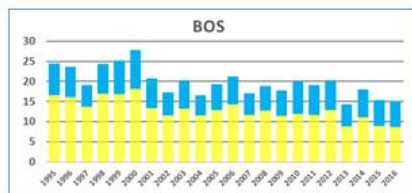
# DEPOZYCJA DO POD-BASENÓW BAŁTYKU: 1995-2016



N-ox: -48%  
N-rd: -19%

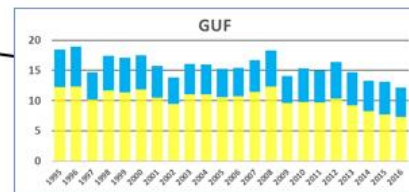
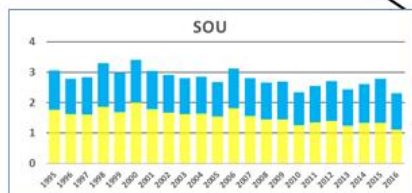
N-ox: -50%  
N-rd: -30%

Duża zmienność z roku na rok



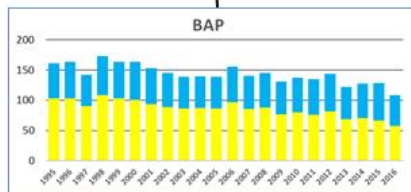
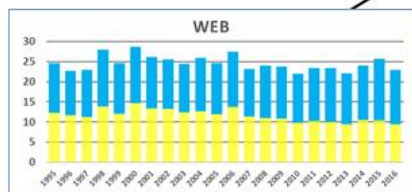
N-ox: -32%  
N-rd: +1%

N-ox: -40%  
N-rd: -16%



N-ox: -37%  
N-rd: -7%

N-ox: -40%  
N-rd: -22%



N-ox: -24%  
N-rd: +11%

N-ox: -51%  
N-rd: -30%

N-ox: -44%  
N-rd: -12%

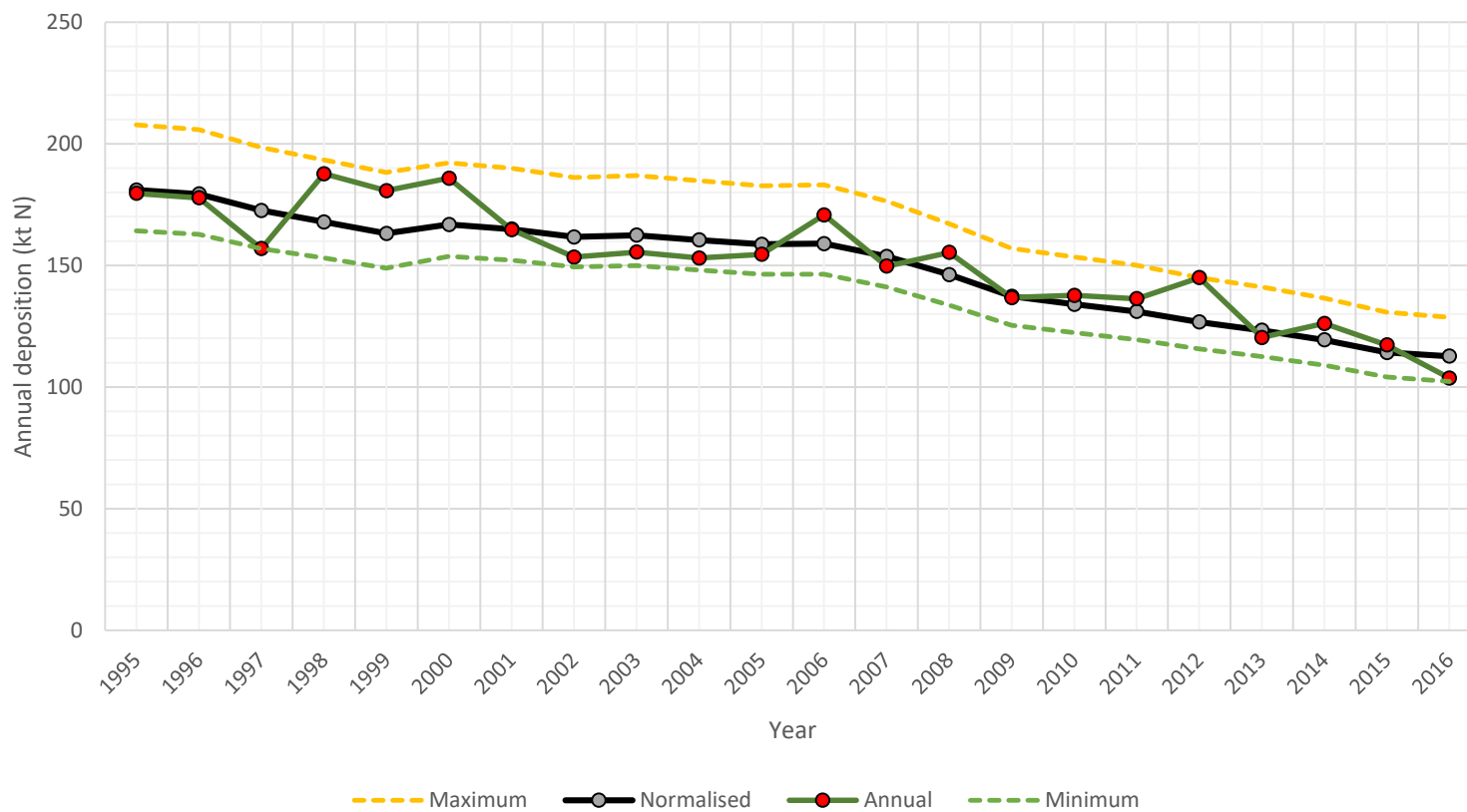


Rok emisji	Rok meteorologiczny			
	1995	1996	.	2016
1995	D(95,96)	D(95,96)	.	D(95,16)
1996	D(96,95)	D(96,96)	.	D(96,16)
.	.	.	.	.
2016	D(16,95)	D(16,96)	.	D(11,16)

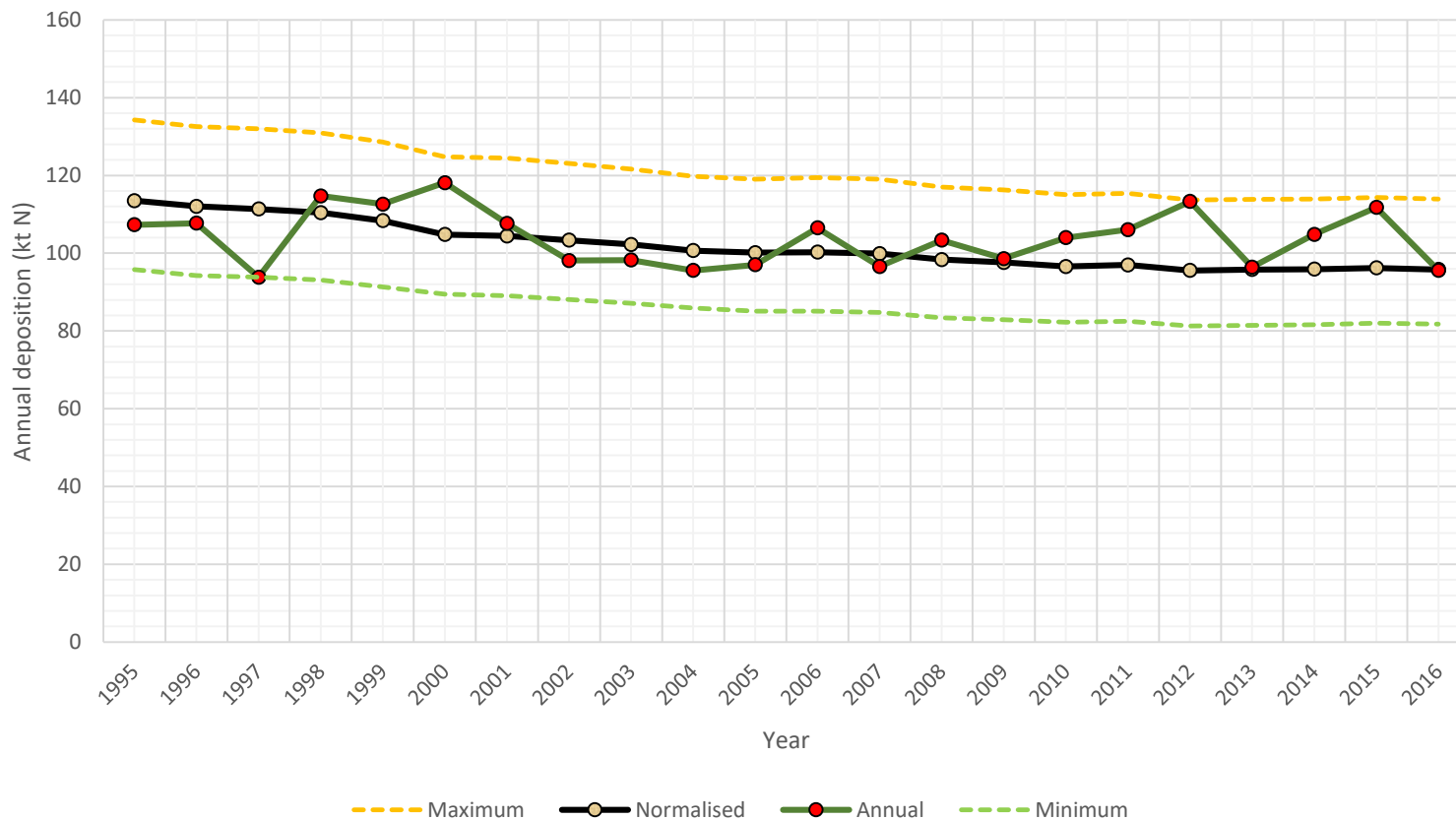
$$D_{\text{NORM}}(\text{ie}) = \text{MEDIAN}[D(\text{ie}, 1), \dots, D(\text{ie}, 16)]$$



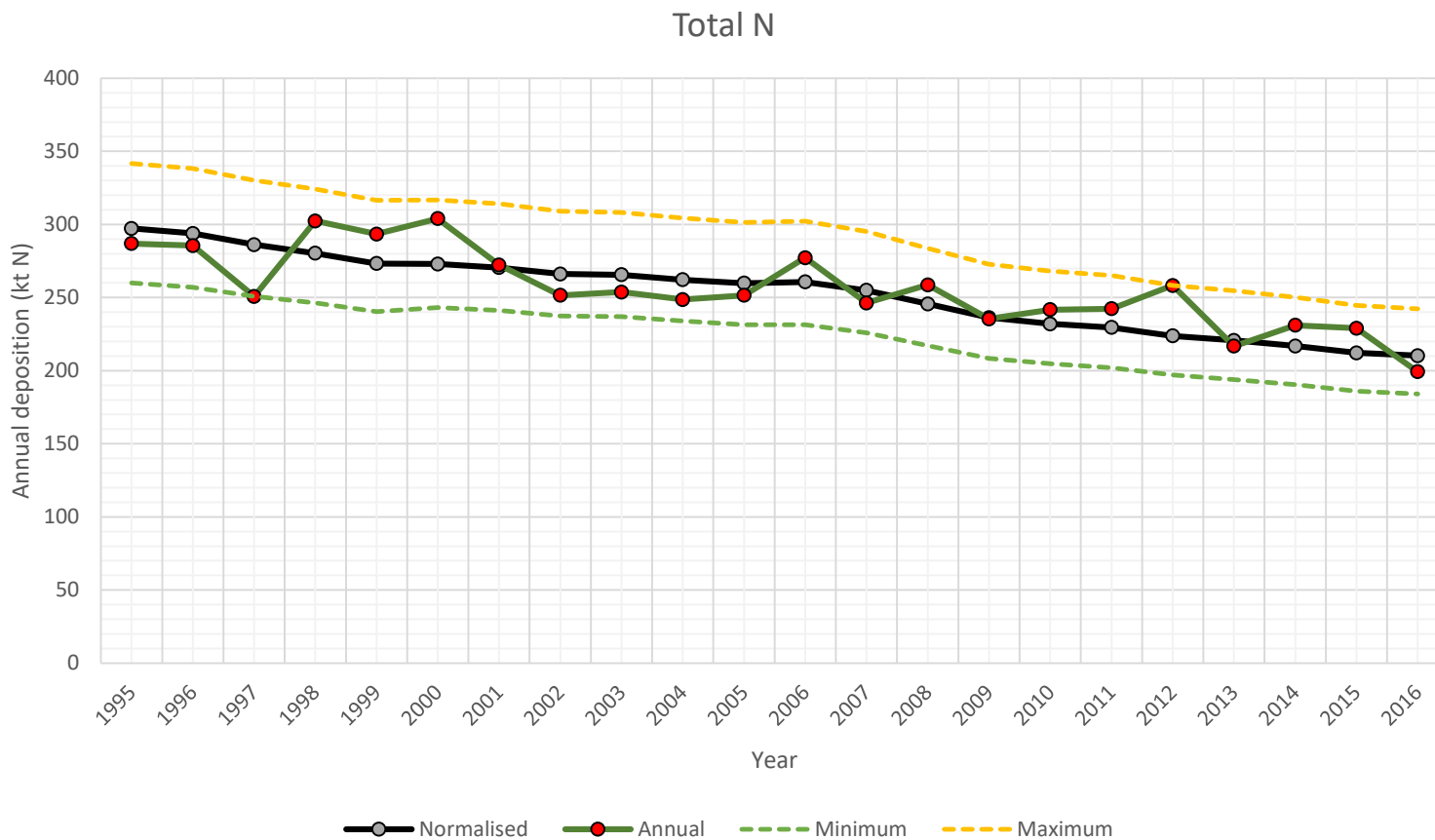
## Oxidised N



## Reduced N

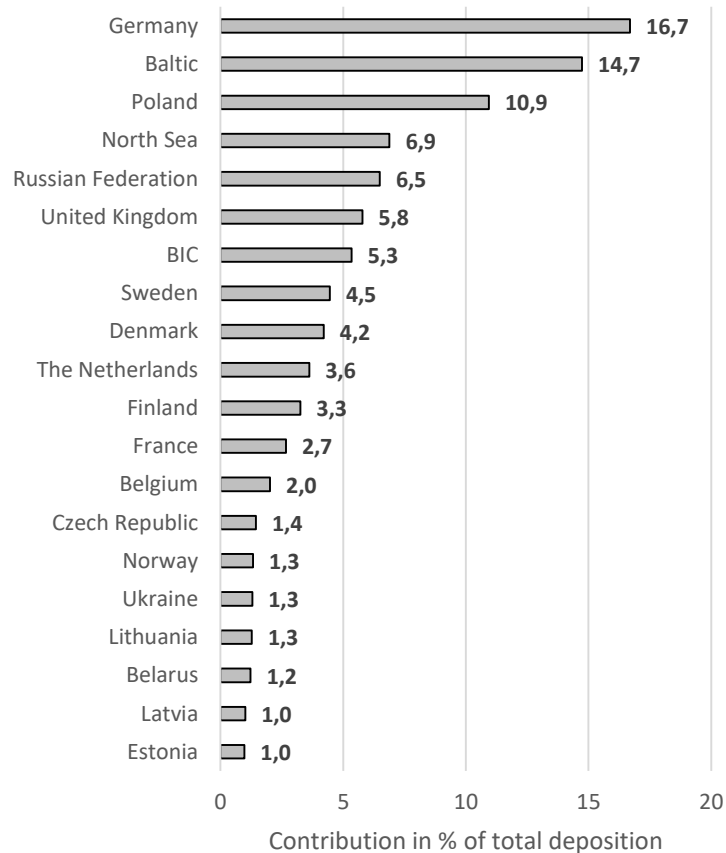
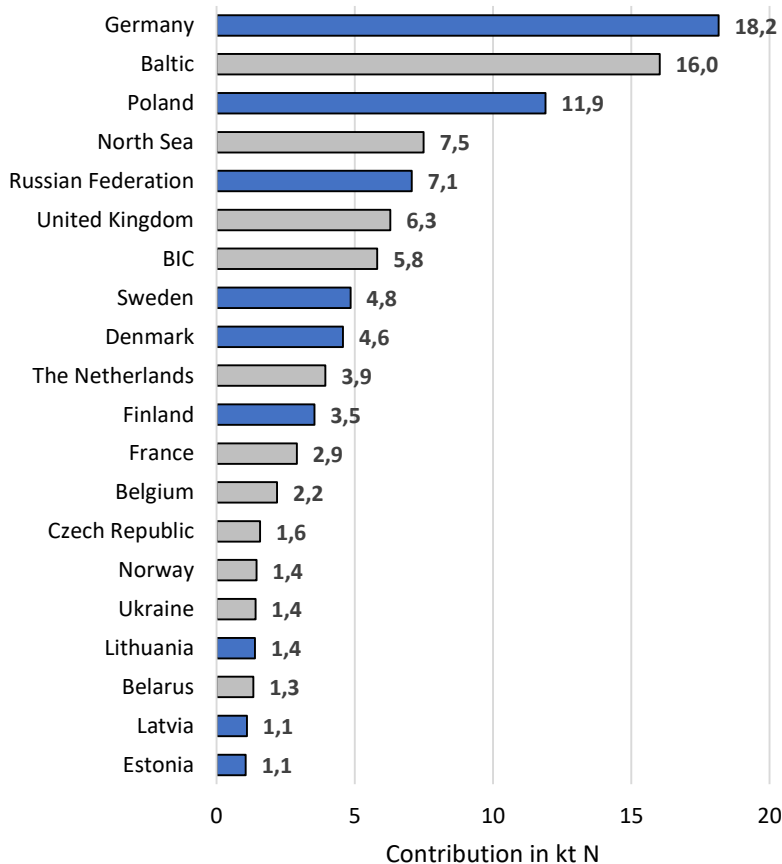


# DEPOZYCJA ZNORMALIZOWANA – AZOT ZREDUKOWANY



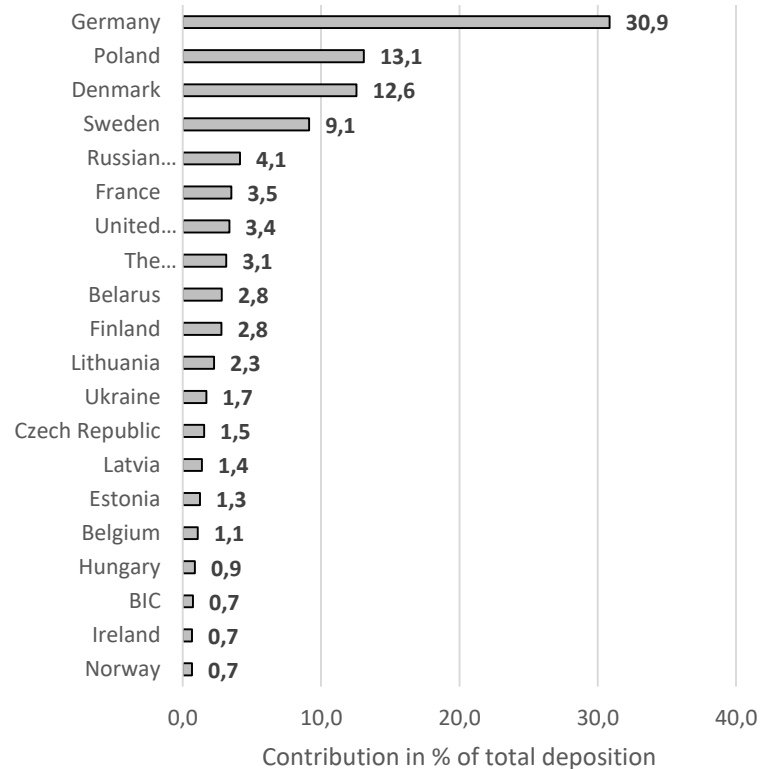
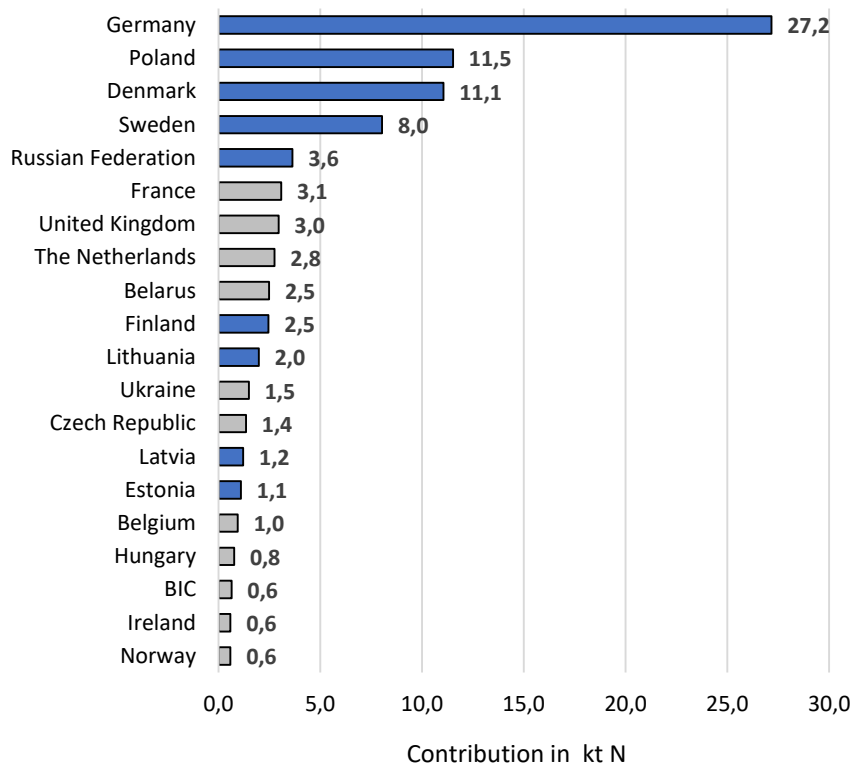


## Oxidized N



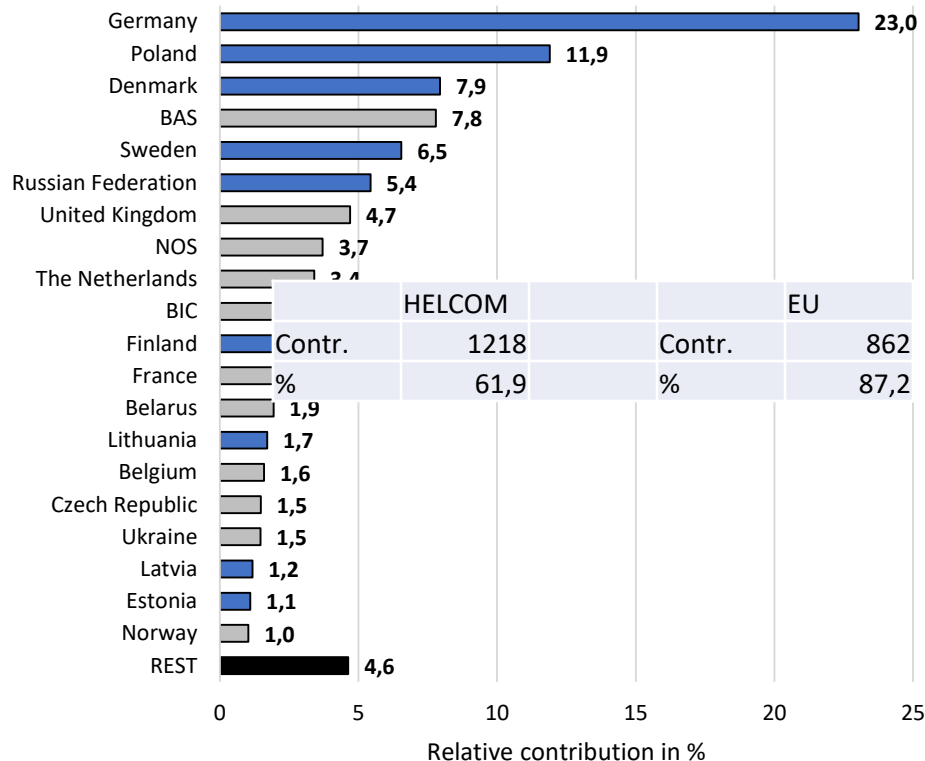
Contribution from HELCOM countries: 54 kt N corresponding to 49%  
 Contribution from EU countries: 67 kt N corresponding to 61%

## Reduced N



Contribution from HELCOM countries: 68 kt N corresponding to 77%  
 Contribution from EU countries: 80 kt N corresponding to 90%

## Total (oxidized + reduced) N



Contribution from HELCOM countries: 122 kt N corresponding to 62%  
 Contribution from EU countries: 147 kt N corresponding to 87%

- Wkład depozycji atmosferycznej do całkowitego ładunku azotu do Morza Bałtyckiego jest znaczący (20-40%)
- W porównaniu do roku 1995, depozycja azotu utlenionego i zredukowanego do basenu Morza Bałtyckiego w roku 2016 zmalała odpowiednio o 42% i 11%. Jednak w dwóch pod-basenach zachodnich (Kattegat i Western Baltic) depozycja azotu zredukowanego wzrosła w tym okresie.
- Występuje duża zmienność depozycji rocznych, szczególnie na północy Bałtyku, stąd konieczność obliczania depozycji znormalizowanych.
- Niemcy, statki na Bałtyku i Polska to główne źródła depozycji azotu utlenionego w roku 2016. Wkład łączny państw HELCOMU to 49%. Znaczny jest też wkład źródeł dalekich takich jak ruch statków na Morzu Północnym, Wielka Brytania, Holandia i Francja.
- Udział Niemiec w depozycji azotu zredukowanego w roku 2016 jest dominujący i wynosi 31%. Również Polska i Dania mają znaczący udział – 13%. Wkład łączny państw HELCOMU to 77%.



Dziękuję za uwagę

Jerzy Bartnicki

06.11.2019, Wrocław

