

From secondary biomass to bio-methanol through CONVERGE technology: An environmental analysis

Stefan Cristian Galusnyak¹, Letitia Petrescu^{1*}, Dora Andreea Chisalita¹,

Calin-Cristian Cormos¹, Marco Ugolini²

1 - Babes - Bolyai University, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, 11 Arany

Janos, RO, 400028, Cluj - Napoca, Romania;

2 - CA.RE. FOR. Engineering, Italy;

Supplementary Material

The current document provides supplementary information in regards to the life cycle inventory tables for the environmental assessment section.

The data sets used in the life cycle inventory for each section of the investigated cases are further presented from Table S1 up to Table S5.

* Corresponding author. Tel.: +40-264-593833, Fax: +40-264-590818
Email address: letitia.petrescu@ubbcluj.ro

Table S1. Life cycle inventory for the main upstream processes in all CONVERGE scenarios (i.e., Case 1, Case 2, and Case 3)

Process	Inputs	Value	Unit	Outputs	Value	Unit
Biomass supply chain - Case 1 and Case 2 (woody biomass)	Biomass (M50%) as forest residues	4.52×10 ³	kg/t _{MeOH}	Biomass (M35%) as wood chips at plant gate	3.48×10 ³	kg/t _{MeOH}
	Diesel for biomass preparation and transport	18.15	kg/t _{MeOH}	Biomass losses	170.00	kg/t _{MeOH}
Biomass supply chain - Case 3 (exhausted olive pomace biomass)	Biomass as residues	2.36×10 ³	kg/t _{MeOH}	Biomass at plant gate	2.34×10 ³	kg/t _{MeOH}
	Diesel for biomass transport	4.25	kg/t _{MeOH}	Biomass losses	20	kg/t _{MeOH}
Sorbent production & transportation (Case 1 – woody biomass)	Calcium hydroxide	6.40	kg/t _{MeOH}	Sorbent	4.43	kg/t _{MeOH}
	Aluminium hydroxide	3.15	kg/t _{MeOH}	Gaseous emissions	0.887	kg/t _{MeOH}
	Polyvinyl Alcohol	1.77	kg/t _{MeOH}			
	Electricity	1.02×10 ³	MJ/t _{MeOH}			
	Deionised water	44.32	kg/t _{MeOH}			
	Diesel for transport	37.07×10 ⁻³	kg/t _{MeOH}			
Sorbent production & transportation (Case 2 – woody biomass)	Calcium hydroxide	4.67	kg/t _{MeOH}	Sorbent	3.23	kg/t _{MeOH}
	Aluminium hydroxide	2.29	kg/t _{MeOH}	Gaseous emissions	0.65	kg/t _{MeOH}
	Polyvinyl Alcohol	1.29	kg/t _{MeOH}			
	Electricity	746.63	MJ/t _{MeOH}			

		Deionised water	32.33	kg/t _{MeOH}		
		Diesel for transport	27.04×10 ⁻³	kg/t _{MeOH}		
Sorbent production & transportation (Case 3 – exhausted olive pomace)		Calcium hydroxide	4.60	kg/t _{MeOH}	Sorbent	3.18 kg/t _{MeOH}
		Aluminium hydroxide	2.26	kg/t _{MeOH}	Gaseous emissions	0.64 kg/t _{MeOH}
		Polyvinyl Alcohol	1.27	kg/t _{MeOH}		
		Electricity	735.26	MJ/t _{MeOH}		
		Deionised water	31.84	kg/t _{MeOH}		
		Diesel for transport	26.63×10 ⁻³	kg/t _{MeOH}		
Membrane production & transportation (Case 1, Case 2 and Case 3)	Ceramic membrane support	Clay	6.30×10 ⁻²	kg	Membrane support	0.16 kg
		Marble dust	3.15×10 ⁻²	kg		
		Fired tile scraps	3.15×10 ⁻²	kg		
		Olive stone	3.15×10 ⁻²	kg		
		Water	5.04×10 ⁻²	kg		
		Diesel for transport	9.09×10 ⁻³	kg		
		Heavy fuel for transport	1.98×10 ⁻⁴	kg		
		Electricity	8.02×10 ⁻²	MJ		
	Membrane coating	Membrane support	0.16	kg	Membrane	0.16 kg
		Aluminium oxide	1.83×10 ⁻⁴	kg		

Polyimide	2.19×10^{-8}	kg
Polyether ether ketone	2.19×10^{-8}	kg
n-Methylpyrrolidone	4.16×10^{-7}	kg
Electricity	0.97	MJ

Table S2. Life cycle inventory for the main processes in Case 1

Main process	Sub-process	Inputs	Values	Units	Outputs	Values	Units
Biomass conversion	Drying	Biomass wet	4.02×10 ³	kg/t _{MeOH}	Biomass dried	2.91×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Air	3.01×10 ³	kg/t _{MeOH}	Used air	3.01×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Heat	3.29×10 ³	MJ/t _{MeOH}	Moisture evaporated	1.12×10 ³	kg/t _{MeOH}
	MILENA & Tar removal	Biomass dried	2.91×10 ³	kg/t _{MeOH}	Syngas to SER	3.09×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Air	3.24×10 ³	kg/t _{MeOH}	Flue gases	4.21×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Steam	3.06×10 ³	kg/t _{MeOH}	H ₂ O	145.33	kg/t _{MeOH}
		Olivine make-up	868.28	kg/t _{MeOH}	CO ₂	963.15	kg/t _{MeOH}
		Electricity for blowers	137.77	MJ/t _{MeOH}	O ₂	133.94	kg/t _{MeOH}
		Gas carrier	308.85	kg/t _{MeOH}	Ar	49.67	kg/t _{MeOH}
		Off-gas	93.77	kg/t _{MeOH}	N ₂	2.91×10 ³	kg/t _{MeOH}
					CO	7.51×10 ⁻⁶	kg/t _{MeOH}
					Ash (purge)	1.69	kg/t _{MeOH}
					Olivine (purge)	895.44	kg/t _{MeOH}
					BTX	107.60	kg/t _{MeOH}
SER & Compression	SER	Air	4.95×10 ³	kg/t _{MeOH}	CO ₂ to compression	3.62×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Steam	3.06×10 ³	kg/t _{MeOH}	H ₂ stream to compression	309.49	kg/t _{MeOH}

		CO ₂	2.49×10 ³	kg/t _{MeOH}	Flue gases	5.68×10 ³	kg/t _{MeOH}
		CO	416.12	kg/t _{MeOH}	N ₂	3.77×10 ³	kg/t _{MeOH}
		CH ₄	271.55	kg/t _{MeOH}	H ₂ O	975.44	kg/t _{MeOH}
		H ₂	202.79	kg/t _{MeOH}	CO ₂	661.07	kg/t _{MeOH}
		H ₂ O	198.80	kg/t _{MeOH}	O ₂	207.09	kg/t _{MeOH}
		C ₂ H ₄	173.13	kg/t _{MeOH}	Ar	64.18	kg/t _{MeOH}
		N ₂	64.02	kg/t _{MeOH}	CO	5.59×10 ⁻⁶	kg/t _{MeOH}
		O ₂	25.23	kg/t _{MeOH}	H ₂	1.30×10 ⁻⁶	kg/t _{MeOH}
		MeOH	2.04	kg/t _{MeOH}			
		Ar	0.78	kg/t _{MeOH}			
		Electricity	1.22×10 ³	MJ/t _{MeOH}			
	CO ₂ and H ₂ compression	CO ₂ to compression	3.62×10 ³	kg/t _{MeOH}	CO ₂ to MeOH	1.96×10 ³	kg/t _{MeOH}
		H ₂ stream to compression	309.49	kg/t _{MeOH}	H ₂ to MeOH	278.54	kg/t _{MeOH}
		Electricity	5.84×10 ³	MJ/t _{MeOH}	Waste water	531.91	kg/t _{MeOH}
					Off-gas	244.44	kg/t _{MeOH}
Methanol synthesis	MeOH production	CO ₂ to MeOH	1.96×10 ³	kg/t _{MeOH}	Methanol product	1×10 ³	kg
		H ₂ to MeOH	278.54	kg/t _{MeOH}	Waste water	724.75	kg/t _{MeOH}
		Water	83.13	kg/t _{MeOH}	Off-gas	691.13	kg/t _{MeOH}

Table S3. Life cycle inventory for the main processes in Case 2

Main process	Sub-process	Inputs	Values	Units	Outputs	Values	Units
Biomass conversion	Drying	Biomass wet	3.49×10 ³	kg/t _{MeOH}	Biomass dried	2.52×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Air	2.61×10 ³	kg/t _{MeOH}	Used air	2.61×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Heat	2.86×10 ³	MJ/t _{MeOH}	Moisture evaporated	969.15	kg/t _{MeOH}
	MILENA & Tar removal	Biomass dried	2.52×10 ³	kg/t _{MeOH}	Syngas to SER	2.68×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Air	2.81×10 ³	kg/t _{MeOH}	Flue gases	3.69×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Steam	133.34	kg/t _{MeOH}	H ₂ O	107.79	kg/t _{MeOH}
		Olivine make-up	753.14	kg/t _{MeOH}	CO ₂	866.40	kg/t _{MeOH}
		Electricity for blowers	119.50	MJ/t _{MeOH}	O ₂	117.21	kg/t _{MeOH}
		Gas carrier	267.91	kg/t _{MeOH}	Ar	43.72	kg/t _{MeOH}
		Off-gas	85.65	kg/t _{MeOH}	N ₂	2.56×10 ³	kg/t _{MeOH}
					CO	7.53×10 ⁻⁶	kg/t _{MeOH}
					Ash (purge)	1.47	kg/t _{MeOH}
					Olivine (purge)	776.70	kg/t _{MeOH}
					BTX	93.33	kg/t _{MeOH}
					Waste water	2.44×10 ³	kg/t _{MeOH}
SER & Compression	SER	Air	3.13×10 ³	kg/t _{MeOH}	CO ₂ to compression	3.58×10 ³	kg/t _{MeOH}

		Steam	2.41×10 ³	kg/t _{MeOH}	H ₂ stream to compression	225.75	kg/t _{MeOH}
		CO ₂	2.09×10 ³	kg/t _{MeOH}	Waste water	1.25×10 ³	kg/t _{MeOH}
		CO	347.46	kg/t _{MeOH}	Flue gases	3.58×10 ³	kg/t _{MeOH}
		CH ₄	331.43	kg/t _{MeOH}	N ₂	2.39×10 ³	kg/t _{MeOH}
		H ₂	127.49	kg/t _{MeOH}	H ₂ O	476.59	kg/t _{MeOH}
		H ₂ O	164.53	kg/t _{MeOH}	CO ₂	548.36	kg/t _{MeOH}
		C ₂ H ₄	150.17	kg/t _{MeOH}	O ₂	121.95	kg/t _{MeOH}
		N ₂	63.98	kg/t _{MeOH}	Ar	40.65	kg/t _{MeOH}
		O ₂	14.40	kg/t _{MeOH}	CO	4.72×10 ⁻⁶	kg/t _{MeOH}
		MeOH	0.70	kg/t _{MeOH}	H ₂	6.46×10 ⁻⁷	kg/t _{MeOH}
		Ar	0.78	kg/t _{MeOH}			
		Off-gas	592.65	kg/t _{MeOH}			
		Electricity	961.95	MJ/t _{MeOH}			
	CO ₂ and H ₂ compression	CO ₂ to compression	3.58×10 ³	kg/t _{MeOH}	CO ₂ to MeOH	1.43×10 ³	kg/t _{MeOH}
		H ₂ stream to compression	225.75	kg/t _{MeOH}	H ₂ to MeOH	203.18	kg/t _{MeOH}
		Electricity	4.55×10 ³	MJ/t _{MeOH}	Waste water	451.73	kg/t _{MeOH}
					Off-gas	589.58	kg/t _{MeOH}
Methanol synthesis	MeOH production	CO ₂ to MeOH	1.43×10 ³	kg/t _{MeOH}	Methanol product	1×10 ³	kg

H ₂ to MeOH	203.18	kg/t _{MeOH}	Waste water	628.64	kg/t _{MeOH}
Water	60.64	kg/t _{MeOH}	Off-gas	88.47	kg/t _{MeOH}
Electricity	744.79	MJ/t _{MeOH}			

Table S4. Life cycle inventory for the main processes in Case 3

Main process	Sub-process	Inputs	Values	Units	Outputs	Values	Units
Biomass conversion	Drying	Biomass wet	2.35×10 ³	kg/t _{MeOH}	Biomass dried	2.28×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Air	182.82	kg/t _{MeOH}	Used air	182.82	kg/t _{MeOH}
		Heat	404.17	MJ/t _{MeOH}	Moisture evaporated	67.77	kg/t _{MeOH}
	MILENA & Tar removal	Biomass dried	2.67×10 ³	kg/t _{MeOH}	Syngas to SER	3.28×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Air	5.34×10 ³	kg/t _{MeOH}	Flue gases	6.51×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Steam	127.35	kg/t _{MeOH}	H ₂ O	332.23	kg/t _{MeOH}
		Olivine make-up	1.27×10 ³	kg/t _{MeOH}	CO ₂	1.45×10 ³	kg/t _{MeOH}
		Electricity for blowers	237.60	MJ/t _{MeOH}	O ₂	213.84	kg/t _{MeOH}
		Gas carrier	316.46	kg/t _{MeOH}	Ar	75.50	kg/t _{MeOH}
		Off-gas	88.26	kg/t _{MeOH}	N ₂	4.44×10 ³	kg/t _{MeOH}
					CO	1.17×10 ⁻⁵	kg/t _{MeOH}
					Ash (purge)	6.35	kg/t _{MeOH}
					Olivine (purge)	1.39×10 ³	kg/t _{MeOH}
					BTX	84.39	kg/t _{MeOH}
					Waste water	2.29×10 ³	kg/t _{MeOH}
SER & Compression	SER	Air	2.94×10 ³	kg/t _{MeOH}	CO ₂ to compression	2.44×10 ³	kg/t _{MeOH}

		Steam	2.33×10 ³	kg/t _{MeOH}	H ₂ stream to compression	222.32	kg/t _{MeOH}
		CO ₂	1.89×10 ³	kg/t _{MeOH}	Waste water	1.17×10 ³	kg/t _{MeOH}
		CO	371.73	kg/t _{MeOH}	Flue gases	3.45×10 ³	kg/t _{MeOH}
		CH ₄	309.46	kg/t _{MeOH}	N ₂	2.32×10 ³	kg/t _{MeOH}
		H ₂	133.16	kg/t _{MeOH}	H ₂ O	447.01	kg/t _{MeOH}
		H ₂ O	166.48	kg/t _{MeOH}	CO ₂	524.31	kg/t _{MeOH}
		C ₂ H ₄	135.78	kg/t _{MeOH}	O ₂	118.06	kg/t _{MeOH}
		N ₂	175.26	kg/t _{MeOH}	Ar	38.92	kg/t _{MeOH}
		O ₂	13.43	kg/t _{MeOH}	CO	4.49×10 ⁻⁶	kg/t _{MeOH}
		MeOH	0.53	kg/t _{MeOH}	H ₂	6.04×10 ⁻⁷	kg/t _{MeOH}
		Ar	1.48	kg/t _{MeOH}			
		Off-gas	822.37	kg/t _{MeOH}			
		Electricity	969.21	MJ/t _{MeOH}			
	CO ₂ and H ₂ compression	CO ₂ to compression	2.44×10 ³	kg/t _{MeOH}	CO ₂ to MeOH	1.41×10 ³	kg/t _{MeOH}
		H ₂ stream to compression	222.32	kg/t _{MeOH}	H ₂ to MeOH	200.09	kg/t _{MeOH}
		Electricity	4.37×10 ³	MJ/t _{MeOH}	Waste water	423.43	kg/t _{MeOH}
					Off-gas	821.43	kg/t _{MeOH}
Methanol synthesis	MeOH production	CO ₂ to MeOH	1.41×10 ³	kg/t _{MeOH}	Methanol product	1×10 ³	kg

H ₂ to MeOH	200.09	kg/t _{MeOH}	Waste water	628.54	kg/t _{MeOH}
Water	59.72	kg/t _{MeOH}	Off-gas	62.29	kg/t _{MeOH}
Electricity	820.58	MJ/t _{MeOH}			

Table S5. Life cycle inventory for the downstream processes in all CONVERGE scenarios (i.e., Case 1, Case 2, and Case 3)

Process	Inputs	Value	Unit	Outputs	Value	Unit
Ash disposal (Case 1 – woody biomass)	Ash	1.69	kg/t _{MeOH}	Ash to cement plant	1.69	kg/t _{MeOH}
	Diesel for transport	1.24*10 ⁻³	kg/t _{MeOH}			
Ash disposal (Case 2 – woody biomass)	Ash	1.47	kg/t _{MeOH}	Ash to cement plant	1.47	kg/t _{MeOH}
	Diesel for transport	1.07*10 ⁻³	kg/t _{MeOH}			
Ash disposal (Case 3 – exhausted olive pomace)	Ash	6.35	kg/t _{MeOH}	Ash to cement plant	6.35	kg/t _{MeOH}
	Diesel for transport	4.63*10 ⁻³	kg/t _{MeOH}			