



Izglītības un zinātnes ministrija



Studiju un zinātnes
administrācija

Valsts pētījumu programma :

Inovatīvi materiāli un viedās tehnoloģijas vides drošumam (IMATEH)

Projekts:

**Inovatīvi un daudzfunkcionāli kompozītmateriāli ilgtspējīgām būvēm no
vietējām izejvielām**

**Metode dabisko šķiedru kompozītmateriālu dzīves cikla
aprēķinam**

Sagatavoja: Mg.sc.ing. Māris Šinka

Projekta vadītāja: Prof. Diāna Bajāre

Rīga, 2016

Saturs

Darba mērķi un uzdevumi	4
1. Metodoloģija	5
2. Datu ieguve.....	7
2.1. Kaņepju audzēšana un apstrāde	7
1.1.1. Kaņepju audzēšana	7
1.1.2. Kaņepju pārstrāde	9
1.2. Kaļķa saistvielas ražošana.....	10
1.2.1. Hidrauliskā kaļķa saistviela	10
1.2.2. Eksperimentālā saistviela	12
1.3. Kaņepju-kaļķa sienas funkcionālā vienība	12
1.4. Kaņepju-kaļķa funkcionālās vienības salīdzināšana ar citiem materiāliem	13
3. Rezultātu analīze	15
3.2. Kaņepju audzēšanas un apstrādes analīze	15
3.2.1. Kaņepju audzēšana.....	15
3.2.2. Kaņepju pārstrāde	17
3.3. Kaļķa saistvielas ražošanas analīze	18
3.3.1. Hidrauliskā kaļķa saistviela	18
3.3.2. Eksperimentālā saistviela	19
3.4. Kaņepju-kaļķa sienas funkcionālās vienības analīze.....	21
3.4.1. Kaņepju-kaļķa sienas funkcionālās vienība ar hidrauliskā kaļķa saistvielu.....	21
3.4.2. Kaņepju-kaļķa sienas funkcionālā vienība ar hidrauliskā kaļķa saistvielu	22
3.4.3. Funkcionālo vienību salīdzinājums atkarībā no saistvielas.....	23
3.5. Alternatīvu materiālu salīdzinājums.....	24

4. Secinājumi	26
Atsauces	28
Pielikums A	29

Darba mērķi un uzdevumi

PĒTĪJUMA MĒRĶIS:

Izstrādāt metodi dabisko šķiedru kompozītmateriālu dzīves cikla aprēķinam.

UZDEVUMI:

1. Iegūt un apstrādāt datus par kaņepju audzēšanu un to pārstrādi dzīves cikla aprēķinam
2. Iegūt un apstrādāt datus par divu veida kaņepju-kaļķa saistvielām un tās salīdzināt
3. Izstrādāt funkcionālo vienību vairākiem kaņepju-kaļķa kompozītmateriāla veidiem, aprēķināt to dzīves ciklu pēc CML 2 metodes un veikt salīdzinājumu
4. Aprēķināt kaņepju-kaļķa kompozītmateriāla dzīves cikla CO₂ bilanci, sniegt ieteikumus tās uzlabošanai
5. Salīdzināt kaņepju-kaļķa kompozītmateriālu ar līdzīgiem materiāliem pēc siltumtehnikajām īpašībām

1. Metodoloģija

Lai novērtētu dabisko šķiedru kompozītmateriālu ietekmi uz vidi, ir jāveic to dzīves cikla aprēķins (*Life cycle assessment – LCA*). Tas iekļauj patērēto resursu aprēķinu un emisijas vidē visos produkta dzīves posmos – materiālā ieguvē, to ražošanā, produktus vai to atsevišķas daļas, tā izmantošanu un atkārtotu izmantošanu, reciklēšanu vai noglabāšanu.

Šī pētījuma ietvaros aprēķinam tiek izmantota aprēķinu programma SimaPro 7, kas ir viena no divām pasaulē vadošajām LCA aprēķina programmām. Tā ir apvienota ar Ecoinvent 2.0 datubāzi, kas dod pieeju liela daudzuma procesiem, kas nepieciešami pilna aprēķina veikšanai.

Procesu posmi, kuri nav atrodami datubāzēs tiek ievadīti manuāli, ņemot datus no dažādiem pētījumiem vai komunikācijas ar ražotājiem vai audzētājiem. Šī pētījuma ietvaros galvenās kategorijas, kas tika ievadītas manuāli bija kaņepju audzēšana un pārstrāde, saistvielas un funkcionālās vienības ražošana, kā arī alternatīvas saistvielas un to izejvielu ražošana.

Analizējot rezultātus, katra no produktu kārta tika apskatīta atsevišķi, lai varētu novērtēt tās atsevišķo sadaļu ietekmi. Analīzei tiek izmantota CML 2 baseline metode (Centre of Environmental Science, Leiden University, NL, 2000), kas nosaka potenciālu kaitējumu videi no gaisa, šķidrām un cietajām emisijām, izmantojot atbilstošus ekvivalences koeficientus atlasītajiem savienojumiem uz vairākiem ietekmes kategorijām (Globālās sasilšanas potenciāls, paskābināšanās potenciāls, eutrofikācijas potenciāls, troposfēras ozona un fotoķīmiskā smoga veidošanās potenciāls, stratosfēras ozona noārdīšanās potenciāls, ekotoksicitātes potenciāls).

Svarīgākais šī pētījuma ietvaros ir Globālās sasilšanas potenciāls (*global warming potencial – GWP*), jo kā viena no galvenajām kaņepju-kaļķa materiāla pozitīvajām īpašībām tiek minēta tā spēja sevī noglabāt vairāk oglekļa dioksīdu savas dzīves laikā nekā tika radīts, tādējādi dodot pozitīvu pienesumu cīņai ar globālu emisiju samazinājumu. Globālās sasilšanas potenciāls (GSP) ir relatīvs mērījums, kas nosaka, cik daudz siltuma siltumnīcefekta gāzes iesprosto atmosfērā. Tā salīdzina siltuma daudzumu, ko iesprosto apskatāmā gāze ar noteiktu masu salīdzinājumā ar siltuma daudzumu, ko iesprosto oglekļa dioksīds ar tādu

pašu masu, un izsaka to kā koeficientu no šī salīdzinājuma. GSP tiek aprēķināts noteiktam laika intervālam, kas parasti ir 20, 100 vai 500 gadi., taču visbiežāk lietotais ir 100 gadu periods, kas pieņemts arī šī pētījuma ietvaros.

Izmantojot šo pētījumu, esošie un potenciālie kaņepju-kaļķa kompozītu ražotāji var novērtēt sava izvēlēta materiāla ietekmes un atrast veidus kā samazināt šīs ietekmes. Arī atsevišķajos procesos iesaistītie kaņepju audzētāji un pārstrādātāji var redzēt un novērtēt kā attiecīgā sadaļa ietekme materiāla kopējās īpašības un identificēt vietas, kur nepieciešams veikt uzlabojumus.

2. Datu ieguve

2.1. Kaņepju audzēšana un apstrāde

1.1.1. Kaņepju audzēšana

Lai iegūtu kaņepju audzēšanas dzīves cikla datus, tika izmantoti vairāki avoti. Tā kā apskatīts tiek scenārijs ar kaņepju audzēšanu un pārstrādi Latvijā, tad arī galvenie dati tiek ņemti no pētījumiem Latvijā, galvenokārt, ko veikusi V. Stramkale no Latgales lauksaimniecības zinātnes centra [1,2,3]. Galvenie dati šīs sadaļas kontekstā ir dati par mēslojuma daudzumu un iegūtās ražas lielumu, jo tie saskaņā ar pētījumiem [6] ir mainīgi atkarībā no reģiona, pielietotās traktortehnikas daudzums un patērētās dīzeļdegvielas daudzums vidējos apstākļos nav pārāk atšķirīgs. Ievadnes kopsavilkumu var redzēt Tabulā 1, izvērsti dati redzami Pielikuma A Tabulā 6.

Tabula 1 Kaņepju audzēšanas uz 1 ha ievadnes kopsavilkums

Nosaukums	Vienības	Daudzums
Amonija nitrāts 33/0/0, izteikts N	kg	79,80
3-superfosfāts 0/46/0/0, izteikts P2O5	kg	70,08
Kālija hlorīds 0/0/60/0, izteikts K2O	kg	147,00
Kaļķis	kg	360,00
Sēklas	kg	50,00
Degviela - dīzelis	MJ	2934,99
Kg traktora (kat. A)	kg	4,02
Kg harvestera (kat. B)	kg	10,07
Kg citas tehnikas (kat. C)	kg	8,44

Pētījuma ietvaros tiek apskatīts tikai variants, kad kaņepes tiek audzētas šķiedras ieguvei, jo šādā veidā tiek iegūta lielākā daļa Latvijā audzēto kaņepju spaļu. Tā kā kaņepes tiek lietotas kā rotācijas augs pēc dažādām graudaugu kultūrām, tad lauka apstrāde pēc iepriekšējiem augiem ir ārpus pētījuma robežām un tiek sākota ar lauka aršanu. Pēc tam tiek veikta kultivēšana, kaļķošana (reizi trīs gados) un minerālmēsļu iestrāde, minerālmēsļu iestrādei tiek veikti divi pārbraucieni, slāpekli iestrādājot atsevišķi no fosfāta un kālija.

Tā kā tiek pieņemta vidēji ar barības vielām bagāta augsne, tad tiek lietoti sekojoši minerālmēsļu daudzumi: 80 kg N, 70 kg P₂O₅ un 147 kg K₂O uz hektāru. Kaļķa daudzums – 360 kg ha. Izsējas norma pieņemta 50kg/ha, kas ir optimāli šķiedras kaņepēm [1,2]. Sēklu ieguve ņemta vērā aprēķinā, kā arī to transportēšana 2000kmkg pa jūru un 200kmkg pa ceļiem.

Kaņepēm netiek lietoti pesticīdi vai herbicīdi. Traktortehnika, kas iesaistīta augstākminētajās operācijās tiek iedalīta trīs grupās – A traktori, B plāvēji/harvesteri, C pārējā tehnika, atkarībā no grupas tiek piešķirtas emisijas. Kaņepju novākšana notiek tās nopļaujot rudenī un saguldot paralēlās līnijās.

Tabula 2 Kaņepju audzēšanas izvadne

Izvadne		
Raža		
Sausi, zaļi kaņepju kāti (14% mitruma)	kg	16500
Emisijas		
NH ₃ - gaisā	g	1832,85
N ₂ O - gaisā	g	3214,14
NO _x - gaisā	g	672,93
Nitrāts - ūdenī	kg	40,00
Fosfāts - ūdenī	g	898,19
Cd - zemē	mg	5494,5
Cr - zemē	mg	39765
Ni - zemē	mg	11715
Pb - zemē	mg	9009

Saskaņā ar pētījumiem un zemnieku pieredzi, viena no visražīgākajām šķirnēm Latvijas apstākļos ir Polijā izstrādāta šķirne Bialobrezskie [1,2]. Tās ražība vidēji labos apstākļos sasniedz 16500 kg/ha salmu.

Atsevišķi tiek apskatītas emisijas, kas saistītas ar minerālmēsļu lietošanu, ko aprēķina programma ņem vērā. Amonjaka emisijas dēļ amonija nitrāta mēslojuma tika aprēķinātas saskaņā ar ECETOC [10]): emisijas faktors (EF) bija 0.02 kg NH₃-N apmērā uz vienu kg N. Tiek lēsts, ka nitrātu slāpekļa zudums (NO₃-N) gruntsūdeņos varētu būt 40 kg/ha, kas atbilst

vidējam nitrātu zaudējumiem [11]. Dati no Ungārijas [6] norāda, ka reģionos ar zemu vasaras un rudens nokrišņu daudzumu (piemēram, Ungārijas kaņepju ražošanas reģionos) 20 kg/ha būtu ticamāks skaitlis. Emisijas no slāpekļa oksīda slāpekļa (N_2O-N) tika aprēķināts pēc Mosier [12]. Attiecībā uz tiešo emisiju no augsnes EF ir 0.0125 kg N_2O-N uz kg N, kas iestrādāts, pēc amonija iztvaikošanas. Par netieši izraisītām emisijām EF ir 0.01 kg N_2O-N uz kg NH_3-N un 0,025 kg N_2O-N uz kg NO_3-N . Emisijas no slāpekļa oksīda slāpekļa (NO_x-N) tika aprēķināts pēc Rossier [6] 10% apmērā no N_2O-N emisijām.

Notece no PO_4-P uz virszemes ūdeņiem tika novērtēta atbilstoši Rossier [6]: tika izmantots EF par 0,01 kg PO_4-P uz 1 kg P ievades no mēslošanas līdzekļiem. Emisijas no Cd, Cu, Ni un Pb z augsni tika aprēķinātas saskaņā ar bilances pieeju, ņemot vērā ieguldījumu no mēslošanas un izvadi caur novākto produkciju. Smago metālu satura daudzums minerālmēslos ir balstīts Rossier [6]. Dati par smago metālu uzņemšanu kultūraugiem ir reti pieejam. Atsauce smago metālu uzņemšana tika balstīta uz 6800 kg/ha kviešu ražas graudu, kas saturēja 0,12 mg / kg Cd, 5,9 mg / kg Cu, 0,22 mg / kg Ni un 0,2 mg / kg no Pb [6].

1.1.2. Kaņepju pārstrāde

Kaņepju novākšanas daļa beidzās ar kaņepju pļaušanu, visi salmiņi stāv sagūlušies paralēlās rindās un tiek žāvēti. Lai iegūtu garās šķiedras salmiņi tiek mērcēti un 'vēlreiz žāvēti uz lauka, salauzti un sapresēti ruļļu vai kantainās ķīpās. Ķīpas ar frontālā iekrāvēja traktoru tiek iekrauti smagajā mašīnā un vesti 40 km tālu.

Tabula 3 Kaņepju pārstrādes dati

Nosaukums	Vienības	Daudzums
Ievadne		
Salmiņi	kg	16500,00
Lauksaimniecības tehnika	kg	8,91
Lauksaimniecības tehnika	kg	55,89
Degviela - dīzelis	MJ	1227,19
Elektrība	MJ	6682,50
Izvadne		
Spaļi	kg	9000,00
Šķiedra	kg	6400,00
Putekļi	kg	1100,00

Salmiņi tiek pārstrādāti uz automātiskas pārstrādes līnijas. Materiālu padod uz padeves galda, kam seko ķīpu atvērējs, kurā ir režģis akmeņu atdalīšanai. Tālāk uz

transportiera lentes atrodas magnēts, kas izlasa metāla daļas. Tam seko kulstītājs, kas apstrādā salmus tos salaužot, lai no šķiedrām atdalītu spaļus, ar pedāļu vibratoriem spaļi tiek atdalīti no šķiedrām. Šķiedras tiek padotas tālāk uz atvēršanas līniju. Visa procesa laikā tiek veikta putekļu nosūkšana.

Šādas līnijas kapacitāte normālā režīmā ir 1 t/h. Nominālā jauda visai līnijai ir aptuveni 150 kW (Ķīpu atvērējs 3 kW, vibratori 30 kW, kulstītājs 105 kW, putekļu izvadīšana un šķiedras transportēšana 12 kW). Normālas darbības jauda tiek lēsta 75% no nominālās vērtības. Tādējādi elektroenerģijas patēriņš uz vienu tonnu salmiņu tiek lēsts aptuveni 112 kWh. Elektroenerģiju piegādā no publiskā sadales tīkla.

Pēc pārstrādes procesa tiek iegūti trīs dažādi produkti. Šķiedra ir šīs pārstrādes galvenais produkts, kaņepju audzēšana balstās tieši uz šo produktu, jo ekonomiskā ziņā tas ir visnozīmīgākais, iegūtie spaļi un putekļi ir blakusprodukti. Šķiedra pēc pārstrādes tiek nodota tālāk pārstrādei tekstilmateriālos un no šī aprēķina viedokļa tālāk netiek ņemta vērā, tāpat kā putekļi/mazās daļiņas, kas tiek pārvērstas briketēs enerģijas iegūšanai. Ietekmes faktori tiek piešķirti pēc ekonomiskā sadalījuma Tabulā 4.

Tabula 4 Salmu pārstrādes ekonomiskais sadalījums

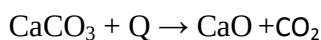
Produkts	Iegūtais daudzums (% no masas)	Vērtība (€/kg)	Sadalījuma faktors (%)
Šķiedra	38,79%	0,75	72,49%
Spaļi	54,55%	0,2	27,18%
Putekļi	6,67%	0,02	0,33%

1.2. Kaļķa saistvielas ražošana

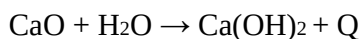
1.2.1. Hidrauliskā kaļķa saistviela

Kaņepju siltumizolācijas kompozītmateriālus veido sajaucot kaņepju spaļus ar kaļķa bāzes saistvielu. Galvenokārt, tiek izmantots veldzēts kaļķis ar iespējami augstu tīrību (parasti CL90), kam piejaukti dažādi hidrauliski piemaisījumi. Šie piemaisījumi nepieciešami, jo tīra veldzētā kaļķa stiprība ir nepietiekoša un tā saistīšanās laiks ir pārāk ilgs, lai to varētu pilnvērtīgi izmantot kaņepju-kaļķa kompozītmateriālos. Lai iegūtu augstāku stiprību parasti tiek piejaukti vidēji stipri vai stipri hidrauliskie kaļķi (NHL3,5 vai NHL5) un pucolāna piedevas, kas uzlabo stiprību un samazina saistīšanās laiku.

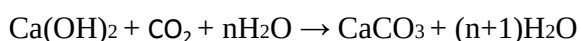
Kaļķakmeni apdedzinot 1200⁰C temperatūrā rodas divas galvenās CO₂ emisijas. Viena ir no kurināmā sadedzināšanas, kas nepieciešams kaļķakmens apdedzināšanai, otra izdalās kaļķakmenim ķīmiski sadaloties temperatūras iedarbībā kalcija oksīdā un ogļskābajā gāzē:



Apdedzinātos gabalveida kaļķus var pārvērst pulveri gan malšanas, gan veldzēšanas veida:



Kaļķu veldzēšanās procesa izdalās liels siltuma daudzums, daļa ūdens pārvērsās tvaikos un tie uzirdina gabalveidā esošo materiālu, un to tilpums pieaug 2-3 reizes. Kaļķus var veldzēt uz vietas objekta, vai arī rūpnieciski, tad izmanto periodiskas vai nepārtrauktas darbības hidratorus. Kaļķu cietēšanas procesa notiek kalcija hidroksīda karbonizācija ar gaisa esošo oglekļa dioksīdu. Tādējādi CO₂, kas rodas apdedzinot kaļķakmeni un tam ķīmiski sadaloties, kaļķa saistīšanās procesā tiek uzņemts atpakaļ.



Hidrauliskā kaņepju-kaļķa saistviela šī pētījuma ietvaros tiek apskatīta kā vidējā no vairākiem avotiem – iepriekšējiem pētījumiem [7,8,9], citu autoru pētījumiem [4,5] un divu Latvijā darbojošos kompāniju pieredzes. Izvēlēta saistviela sastāv no 75% veldzētā kaļķa CL90S, 15% dabīgā hidrauliskā kaļķa NHL5 un 10% pucolānu un citu hidraulisku piemaisījumu.

Veldzētais un hidrauliskais kaļķis šobrīd Latvijā netiek komerciāli ražots, lai arī tas ir ražots pagātnē un kaļķa ieguve un pārstrāde Latvijā notiek, taču tas tiek izmantots citiem būvmateriāliem un sausajiem maisījumiem un netiek pārdots atsevišķi zemā pieprasījuma dēļ. Latvijā, galvenokārt, izmantotais veldzētais un hidrauliskais kaļķis tiek piegādāts no Polijas, tāpēc aprēķinā tam piemērots papildus transporta daudzums 1000 kgkm uz 1 kg materiāla. 10% pucolāni un citi hidrauliski maisījumi aprēķinā tiek aizstāti ar cementu, jo nav iespējams precīzi identificēt visus pielietotos pucolāna maisījumu un to atsevišķos emisijas faktorus, taču pielietojot cementu tiek vērtēts negatīvākais scenārijs. Aprēķinā iekļauts viss

kaļķu ražošanas process no izejvielu iegūšanas līdz materiāla iepakojšanai un transportam līdz Latvijai.

CO₂ daudzums, kas tiek izdalīts kalcinējot CaCO₃ ir 594 g uz kg kaļķa. Hidrauliskais kaļķis ir veidots no mālaina kaļķakmens ar piejaukumiem, tāpēc tā sastāvā ir aptuveni 75% CaCO₃, un CO₂ daudzums, kas tiek izdalīts ir 445 g uz 1 kg hidrauliskā kaļķa.

Lai arī kaļķa karbonizācija notiek lēni, tomēr tā kā tiek lietots GWP 100 faktors, tad tiek pieņemts ka kaļķa karbonizācija ir notikusi visā saistvielā. Maksimālais daudzums CO₂ kas var tiks absorbēts ir vienāds ar daudzumu, kāds tika izdalīts kalcinēšanās procesā. Tiek pieņemts, ka tikai portlanīdts Ca(OH)₂ pilnībā karbonizējas, tādējādi veldzētais kaļķis karbonizējas par 100%, bet hidrauliskais kaļķis tikai par 60%. Tas nozīmē, kas veldzētais kaļķis uzņem atpakaļ 594 g oglekļa dioksīda uz kilogramu kaļķa, bet hidrauliskais kaļķis 267 g CO₂ uz vienu kilogramu saistvielas. Konkrētās saistvielas gadījumā absorbētā CO₂ daudzums būs 445,5 g no veldzētā kaļķa un 40,05 g no hidrauliskā kaļķa, kopā 485,55 g uz 1 kg saistvielas.

1.2.2. Eksperimentālā saistviela

Iepriekšējos pētījumos [7,8] ir eksperimentāli veidotas saistvielas no dažāda veida vietējas izcelsmes produktiem un blakusproduktiem. Kā viena no šādām saistvielām ir veldzēta kaļķa un metakaolīna maisījums attiecībā 60/40. Iegūtā saistviela ir mehāniskā ziņā līdzīga iepriekšējā nodaļā minētajai hidrauliskā kaļķa saistvielai – tās stiprība pārsniedz 5 MPa un tai arī ir pietiekama agrā stiprība, lai to varētu izmantot kaņepju-kaļķa materiālos.

Konkrētais pielietotais metakaolīns ir blakusprodukts no putustikla ražošanas un pēc ekonomiskā sadalījuma tam tiek piešķirts 2% no putustikla emisijām, transportēšanas attālums 400kgkm. No CO₂ absorbcijas viedokļa tiek apskatīti divi varianti – vienā tiek absorbēts 0,356 kg CO₂ uz saistvielas kg, otrā variantā absorbcija netiek ņemta vērā.

1.3. Kaņepju-kaļķa sienas funkcionālā vienība

Lai rezultātus varētu apskatīt objektīvi un salīdzināt ar citiem materiāliem, ir jāizvēlas tāda funkcionālā vienība, pret kuras īpašībām varēs piemeklēt salīdzināmos materiālus. Tā kā kaņepju kaļķa materiāli tiek izmantoti, galvenokārt, kā sienu siltumizolācijas materiāli, tad par funkcionālo vienību tiek izvēlēts 1 m² liels sienas posms, tā biezums pieņemts 300 mm.

Sienas posmu pa visu tilpumu aizpilda kaņepju-kaļķa siltumizolācijas materiāls, izņemto nesošo daļu, ko pilda divi 150x50 mm koka statņi, kas atrodas 600 mm attāluma viens no otra un novietoti sienas griezumā pa vidu. Sienas posmam nav lietota papildus apdare no iekšpuses un ārpuses, lai to varētu precīzāk salīdzināt ar citiem materiāliem, kas tiks lietoti ar šādu pašu apdares līmeni.

Materiāla patēriņš uz konkrēto sienas tilpumu pieņemts no iepriekš veiktiem pētījumiem [7,8,9] un citu autoru pieredzes[4,5], 50 kg saistvielas, 30 kg kaņepju spaļu, 75 kg ūdens un 0,015 m³ koka statņu rāmis. Koka statņu rāmī ir iekļauts viss koksnes ražošanas cikls, kā arī absorbētais CO₂ augšanas laikā, saskaņā ar Ecoinvent 2.0 datubāzi. Koka rāhim iekļauts arī 5kg tērauda stiprinājumi uz kubikmetru koksnes.

Ir vairāki veidi, kā kaņepju-kaļķa kompozīti tiek iestrādāti, šī pētījuma ietvaros tiks apskatīts tradicionālākais – ar materiāla iestrādi uz vietas objektā. Tas nozīmē, ka papildus transporta emisijām pie montāžas tiks pieskaitīta arī elektrība, kas izmantota miksera darbināšanai, kas uz 0,3 m³ kaņepju ir 1,2 kWh [4].

Papildus tam tiek ņemtas vērā arī transporta radītās emisijas katram materiāla veidam, kaļķa saistviela tiek pieņemta, ka atrodas Rīgā, jo visas iepriekšējās sadaļas iekļāva saistvielas transportēšanu, tādējādi saistvielas transportam tiek pieņemti 200kgkm uz 1 kg saistvielas, nosedzot lielāko daļu Latvijas teritorijas. Arī kaņepju spaļiem pieņemti 200kgkm, kaut arī transports no rūpnīcas iepriekšējās sadaļās nebija iekļauts. Tas ir pieņemts tāpēc, ka kaņepju pārstrādes uzņēmumi atrodas vairākās vietās Latvijā (Zemgalē, Latgalē un Vidzemē) tādējādi nosedzot lielāko daļu teritorijas ar 200kgkm. Koka rāhim transportēšanas attālums pieņemts 50kgkm, sakarā ar daudzajām vietējas izcelsmes iegādes vietām.

1.4. Kaņepju-kaļķa funkcionālās vienības salīdzināšana ar citiem materiāliem

Lai varētu salīdzināt kaņepju-kaļķa materiāla dzīves ciklu ar citiem materiāliem ir jāveido alternatīvu materiālu funkcionālās vienības, kas būtu salīdzināmas. Tā kā primārā materiāla funkcija ir siltumizolācija, tad pārējās funkcionālās vienības tiek pieņemtas ar analogu U vērtību – 0,20 W/m²K. Kā alternatīvi materiāli tiek izvēlēti 500mm 300kg/m³ gāzbetona bloki bez papildus siltinājuma, 300 mm 375kg/m³ gāzbetona bloki ar 100 mm 120kg/m³ akmens

vates izolāciju, nesošais koka karkass ar 200mm minerālvates pildījumu un ģipškartona plātni no iekšpuses. Transporta daudzums visiem materiāliem pieņemts 100km. Materiālu daudzumus var redzēt Tabulā 5.

Lai novērtētu visu materiāla dzīves ciklu ir jāiekļauj arī lietošanas fāze un utilizācija. Lietošanas fāzē nevienam no materiāliem neveidojas īpašas papildus emisijas, tāpēc tās nav ņemtas vērā šī pētījuma ietvaros. Tā kā materiālu dzīves cikls tiek prognozēts vismaz 100 gadi, tad par to utilizācijas iespējām nav iespējams šobrīd spriest, tāpēc tiek pieņemts, kas visi materiāli pēc dzīves cikla beigām tiek reciklēti.

Tabula 5 Salīdzināmo funkcionālo vienību sastāvi

Funkcionālā vienība	Materiāls	Vienība	Daudzums
500 mm gāzbetona siena	Gāzbetons 300kg/m3	kg	150
	Gāzbetona līme	kg	13
	Transports	kgkm	16300
300 mm gāzbetons	Gāzbetons 375kg/m3	kg	112,5
+ 100mm akmensvate	Gāzbetona līme	kg	7,5
	Akmensvate 120kg/m3	kg	12
	Akmensvates līme	kg	5
	Transports	kgkm	13750
200 mm minerālvate	Koka statņu karkass	kg	10
+ nesošais koka karkass	Minerālvate	kg	7,2
	Ģipškartona loksne	kg	12,5
	Transports	kgkm	2000

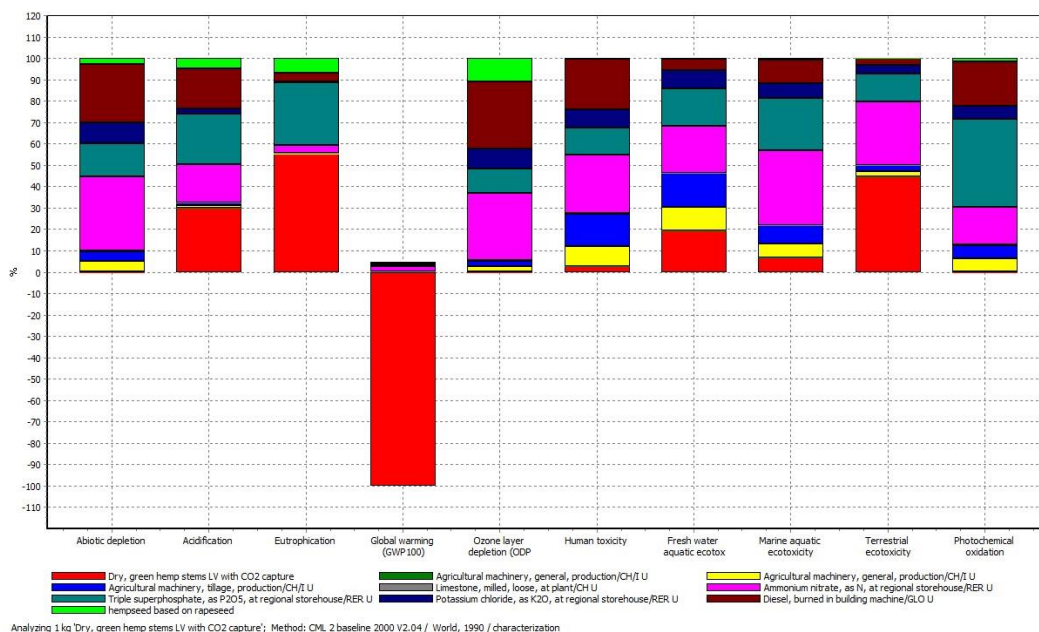
3. Rezultātu analīze

3.2. Kaņepju audzēšanas un apstrādes analīze

3.2.1. Kaņepju audzēšana

No CML grafika par kaņepju audzēšanas ietekmi uz vidi, var redzēt ka galvenie emisiju avoti ir visi trīs minerālmēslu veidi un dīzeļdegviela, ko patērējusi traktortehnika. Grafikā 1 redzamās emisijas, kas ir sarkanā krāsā ir saistītas ar atsevišķi ievadītajām emisijām no Tabulas 2, kur tiek ņemtas vērā emisijas, ko izdala minerālmēsli pēc nonākšanas uz lauka, galvenokārt šīs emisijas saistītas ar slāpekļa izdalīšanos amonija tvaiku veidā atmosfērā un ieskalojoties gruntī un ar virszemes ūdeņiem nonākot ūdenstilpnēs un izraisot eutrofikāciju. Šī pētījuma ietvaros ir pieņemts vidējs nitrātu zudums – 40kg/ha, taču ir pētījumi, kas norāda, kas šis skaitlis atsevišķos apstākļos var būt 20kg/ha [6].

No grafika var redzēt, ka minerālmēslu daudzumam ir noteicoša ietekme gandrīz visās ietekmes kategorijās, kas nozīmē, ka būtu maksimāli jācenšas samazināt to lietojums, pie nemainīga ražīguma. Tāpat arī jācenšas ar dažādiem tehnoloģiskiem paņēmieniem samazināt nitrātu un fosfātu zudumu, piemēram, lietojot sedzošos kultūraugus, papildinot slāpekļa mēslojumu pēc augu uzdīgšanas, plašāk lietojot augsnes testus optimāla slāpekļa daudzuma noteikšanai. No grafika redzams, ka izlietotā dīzeļdegviela arī dod lielu pienesumu no



Grafiks 1 Kaņepju audzēšanas ietekme uz vidi

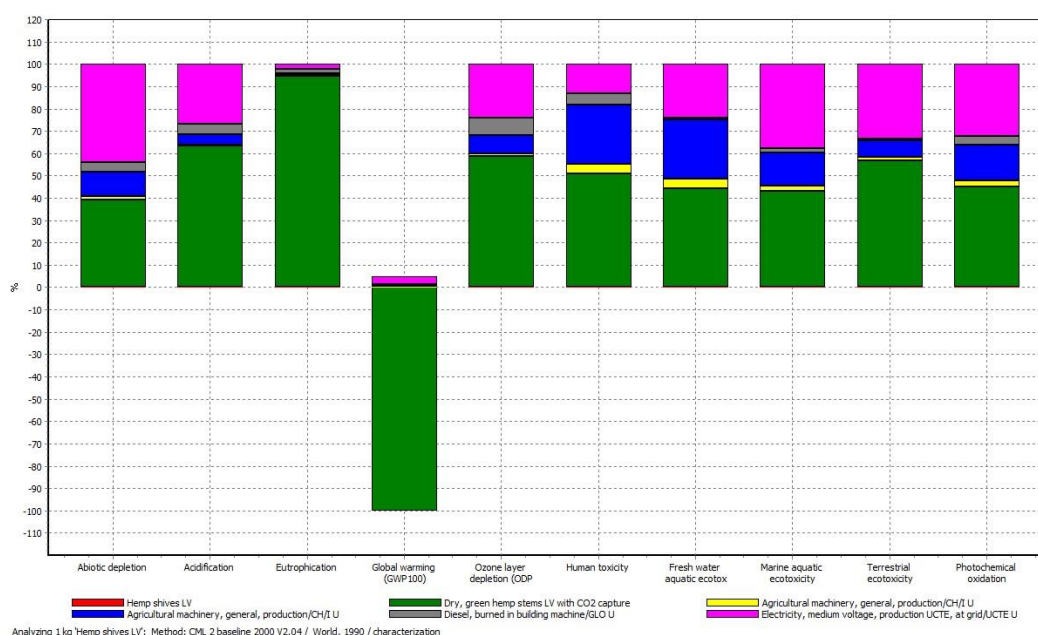
emisiju viedokļa, taču tās daudzuma samazināšana šobrīd nav tehnoloģiski iespējama. Apsverama būtu biodīzeļa lietošana, kas radītu emisiju samazinājumu dažās kategorijās, taču radītu palielinājumu pie eitifikācijas, tāpēc šī pētījuma ietvaros nav apskatīta.

Apskatot izdalītā CO₂ daudzumu no Grafika 1 un Pielikuma A Procesi tīkla 1 un Tabulas 7 var redzēt, ka augšanas laikā kopējā CO₂ balance ir negatīva, t.i. ir uz katru novāktā salmu kilograma ir savākts 1,70 kg CO₂ pieskaitot arī emisijas, jo fotosintēzes rezultātā kaņepes uzņemot C un atdodot atmosfērā O₂, uz 1 kg ir uzņēmušas/sadalījušas 1,84 kg CO₂, tādējādi samazinot kopējo CO₂ daudzumu atmosfērā. Protams, ka audzēšanas procesā tika arī izdalīts CO₂, galvenokārt no minerālmēslu ražošanas, taču šis daudzums bija tikai 0,14 kg

CO₂ un 1 kg salmu, kas veido 8% no uzkrātā CO₂ daudzuma. Tā kā minerālmēsli dod lielāko CO₂ daudzuma pienesumu, tad to samazināšana arī pozitīvi ietekmētu GWP rādītāju.

3.2.2. Kaņepju pārstrāde

Grafikā 2 redzama kaņepju pārstrādes ietekme uz vidi, skaitliskās vērtības redzamas Pielikuma Tabulā 8. No grafika var redzēt, ka pārstrādes procesi uz 8 no 10 ietekmes faktoriem atstāj procentuāli lielu ietekmi – no 35 līdz 60%, lielāko pienesumu dod patērētā elektroenerģija un emisijas, kas saistītas ar pārstrādes iekārtu ražošanu. Šīs emisijas ir



Grafiks 2 Kaņepju pārstrādes ietekme uz vidi

iespējams samazināt tikai pakāpeniski un nedaudz, optimizējot pārstrādes procesu un pārejot uz atjaunojamiem un mazāk piesārņojošiem elektroenerģijas veidiem.

Ja apskata GWP faktoru, tad var redzēt no Tabulas 8 un Procesu tīkla 2 Pielikumā A, ka kaņepju pārstrāde dod mazu pienesumu, tikai 0,04 kg uz 1 kg spaļu, tādējādi sastādot tikai 5% no absorbētā CO₂ daudzuma, jo 1 kg spaļu uzņemtais CO₂ daudzums ir tikai 0,85 kg. Tas ir saistīts ar to, ka tiek lietots ekonomiskā sadalījuma faktors no Tabulas 4. Tas, lai arī precīzāk raksturo faktoru sadalījumu, tomēr ir daudz mainīgāks īsā laikā nekā masas sadalījums, kas nozīmē, ka pamainoties šķiedras/spaļu cenas koeficientam arī ietekmes faktori mainīsies.

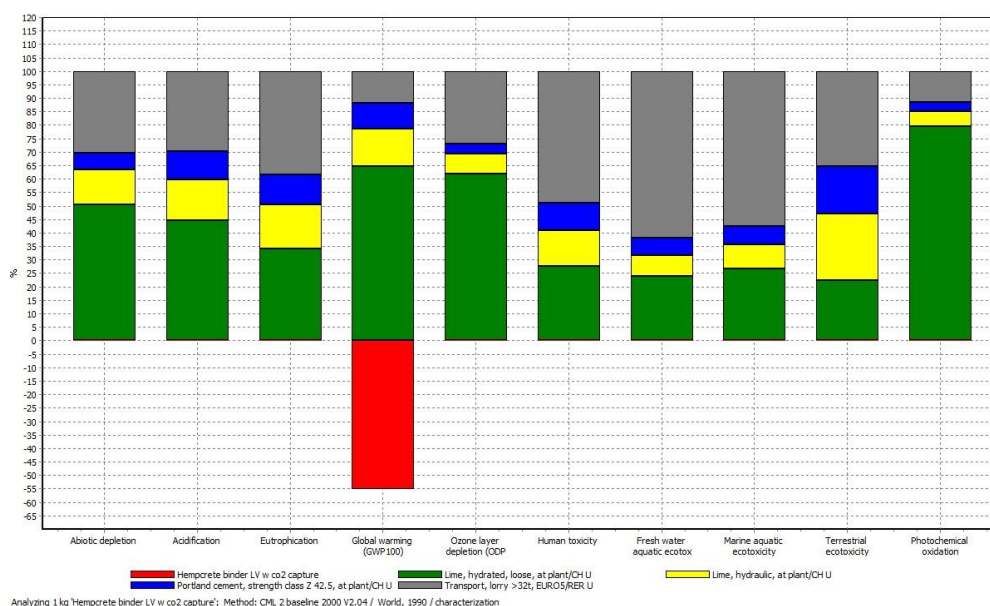
Grafikā 12 Pielikumā A redzams salīdzinājums ekonomiskajam un masas sadalījumam. Var redzēt, ka CO₂ absorbcija masas sadalījuma gadījumā ir par 50% lielāka, kas

pozitīvi ietekmē gala materiāla GWP faktoru, taču tai pat laikā arī visi pārējie emisijas faktori ir par 50% lielāki.

3.3. Kaļķa saistvielas ražošanas analīze

3.3.1. Hidrauliskā kaļķa saistviela

Grafikā 3 redzamas hidrauliskā kaļķa saistvielas ietekmes uz vidi, no grafika redzams, ka lielākās ietekmes dod transports un veldzētais kaļķis. Transporta daudzumu būtu iespējams samazināt tikai, ja veldzētais kaļķis tiktu ražots lokāli, tas ir iespējams pie pieprasījuma



Grafiks 3 Hidrauliskā kaļķa ietekme uz vidi

palielināšanas. Veldzētā kaļķa ietekmi būtu iespējams samazināt tikai ar laiku, optimizējot ražošanas procesus, tāpēc daudz reālāks ietekmes samazināšanas veids ir lietot piedevas, kas samazina nepieciešamā kaļķa daudzumu.

Skatoties uz GWP gan Grafikā 3, gan Procesu tīklā 3, var redzēt, ka arī šajā ietekmes faktorā lielu devumu sniedz veldzētais kaļķis, kas, galvenokārt, ir ķīmiski atbrīvotā CO₂ dēļ. Šo daļu no ietekmes kaļķis pēc savienošanās ūdeni un karbonizācijas uzņems atpakaļ, tāpēc tikai 0,12 kg CO₂ uz kg saistvielas tiks izdalīti, kas saistīti ar veldzētā kaļķa ieguvu un apdedzināšanu. Hidrauliskais kaļķis procentuāli uz masu dod lielāku pienesumu, jo no 0,12 kg

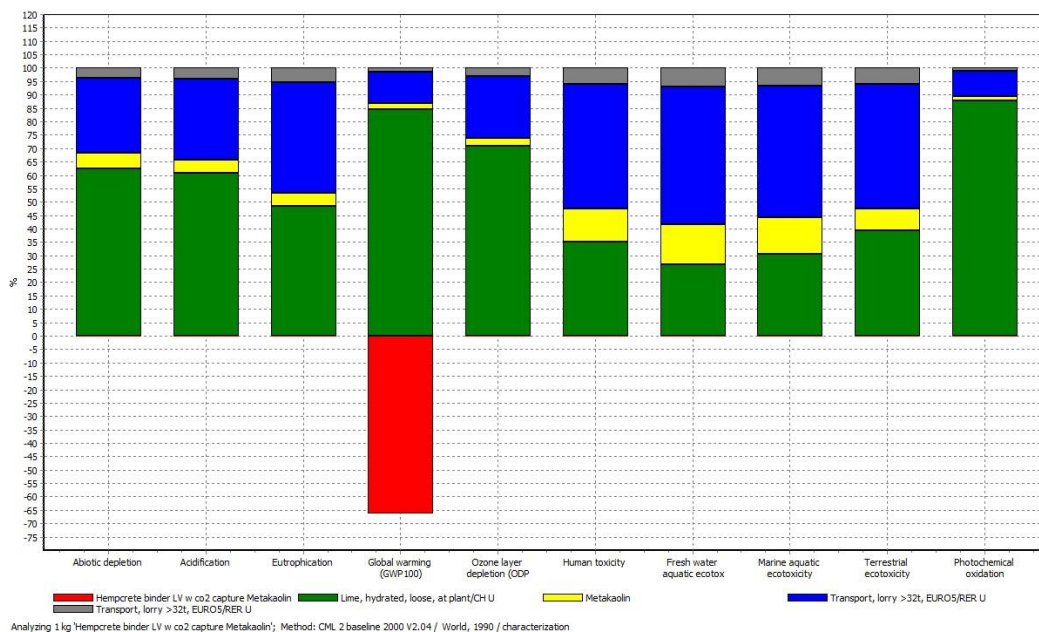
radītā CO₂ tikai 0,04 tiek absorbēti, kas nozīmē, ka tā ietekme ir tikpat liela kā cementa, kas arī rada 0,08 kg CO₂ uz 1 kg saistvielas. Šo emisiju daudzumu var samazināt meklējot alternatīvas saistvielas, kurām ir mazāks daudzums saistvielu ar lielu oglekļa dioksīda emisiju daudzumu.

Tāpat no GWP faktora viedokļa var redzēt, ka, lai arī transports rada nedaudz vairāk par 10%, tomēr ir jāņem vērā, ka uz 1 kg materiāla tika rēķināti 1000kgkm, kas ir attālums līdz kaļķa un hidrauliskā kaļķa rūpnīcām Polijā no Rīgas. Tas parāda, ka ir iespējama arī tālāka materiāla transportēšana, ja ir šāda nepieciešamība no izmaksu vai emisiju viedokļa.

3.3.2. Eksperimentālā saistviela

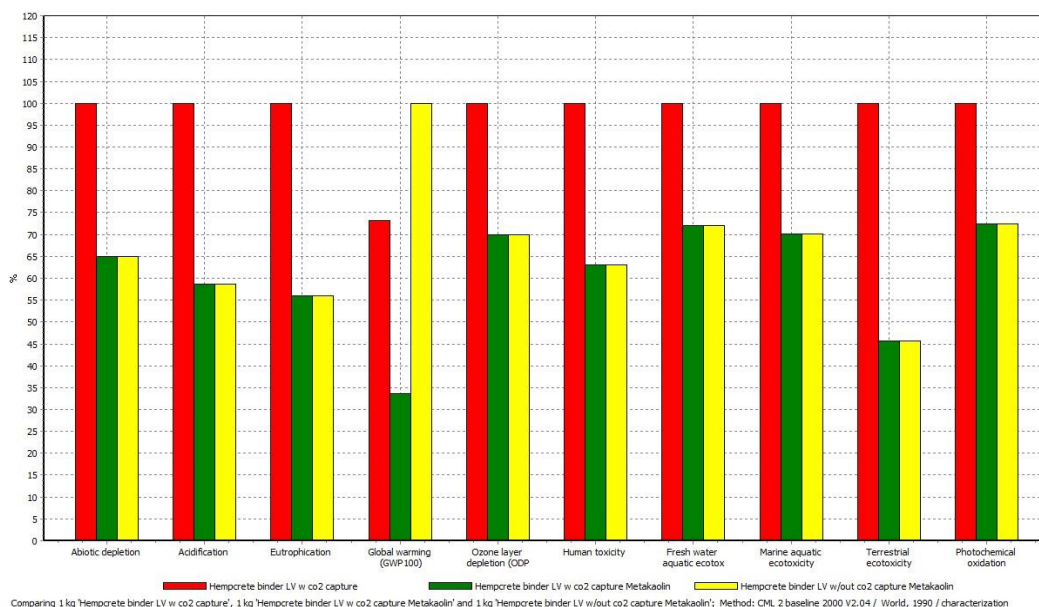
Eksperimentālā saistviela sastāv no 60% veldzēta kaļķa un 40% metakolīna, kas ir blakusprodukts/ atkritumprodukts no putustikla granulu ražošanas procesa. Kā var redzēt no Grafika 4, tad līdzīgi kā hidrauliskā kaļķa saistvielai, arī eksperimentālajai saistvielai galvenie ietekmes faktori nāk no veldzētā kaļķa un transporta. Transporta faktors skaidrojams ar to, ka arī šai saistvielai lielāko daļu veido veldzēts kaļķis, kas tiek vests no Polijas un kura ietekmi uz doto brīdi ir apgrūtināši samazināt.

Metakaolīns dod salīdzinoši mazu ietekmi uz galvenajiem faktoriem, kas skaidrojams ar to, ka tā ekonomiskā sadalījuma faktors ir neliels, sakarā ar tā zemo cenu. GWP faktora galvenais emisiju avots ir veldzētais kaļķis, jo nav citu piemaisījumu saistvielai ar augstu CO₂ emisiju ietilpību. Tas daļēji tiek izbalansēts ar veldzētā kaļķa karbonizāciju, kas absorbē 77% no kaļķa emisijām.



Grafiks 4 Eksperimentālais saistvielas ietekme uz vidi

Salīdzinot hidrauliskā kaļķa saistvielu (sarkana) Grafikā 5 ar eksperimentālo saistvielu ar CO₂ absorbcijas ievērtēšanu (zaļa) vai bez (dzeltena), var redzēt, ka lielākajā daļā rādītāju eksperimentālā saistviela uzrāda labākus rezultātus. Vienīgā



Grafiks 5 Hidrauliskā kaļķa un eksperimentālās saistvielas salīdzinājums

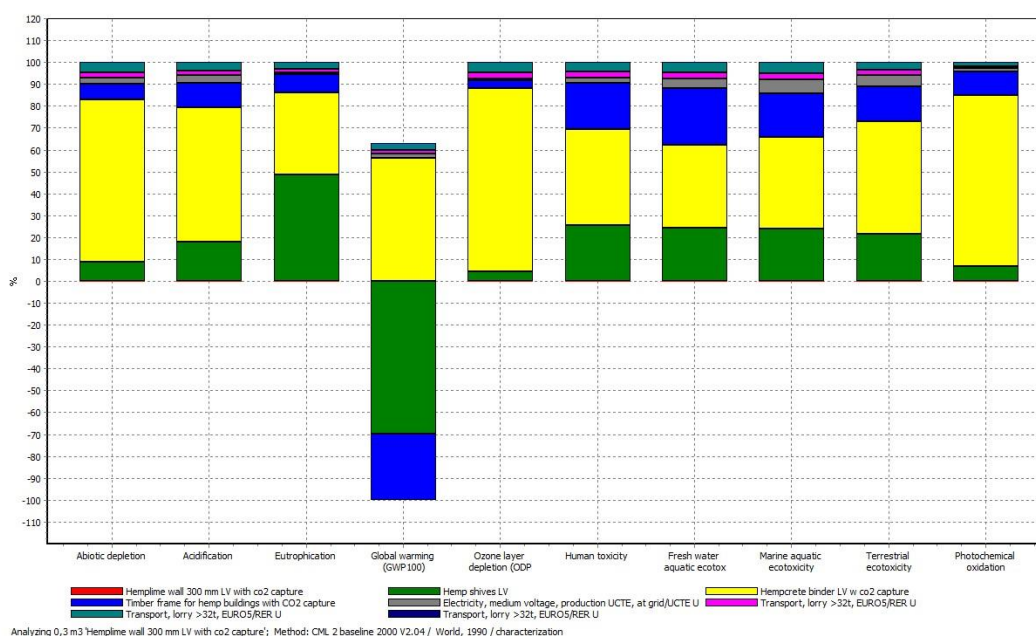
Sadaļa, kur hidrauliskā kaļķa saistviela ir pārāk ir GWP faktors salīdzinot ar eksperimentālo saistvielu bez CO₂ absorbcijas ievērtēšanas, kas skaidrojams ar augstajām veldzētā kaļķa emisijām, kuras no karbonizācijas viedokļa netika novērtētas.

Pārējo faktoru labie rezultāti skaidrojami ar to, ka eksperimentālajai saistvielai pievienotais metakaolīns tiek uzskatīts par blakusproduktu, tādējādi, tikai maza daļa no putustikla ražošanas emisijām tiek piešķirti metakaolīnam.

3.4. Kaņepju-kaļķa sienas funkcionālās vienības analīze

3.4.1. Kaņepju-kaļķa sienas funkcionālās vienība ar hidrauliskā kaļķa saistvielu

Apskatot Grafiku 6, kur redzama kaņepju-kaļķa sienas funkcionālās vienības ar hidrauliskā kaļķa saistvielu ietekme uz vidi, var redzēt, ka lielāko daļu emisiju visos faktoros dod saistviela. Tas, galvenokārt, saistīts ar lielo enerģijas patēriņu, kas nepieciešams visu saistvielas sastāvdaļu ražošanai. No grafika arī redzams, ka uz kopējo funkcionālo vienību lielu (10-45%) iespaidu dod arī kaņepju spaļu ražošana, kas, kā jau apskatīts iepriekšējās daļās, saistīts ar minerālmēsli lietošanu.



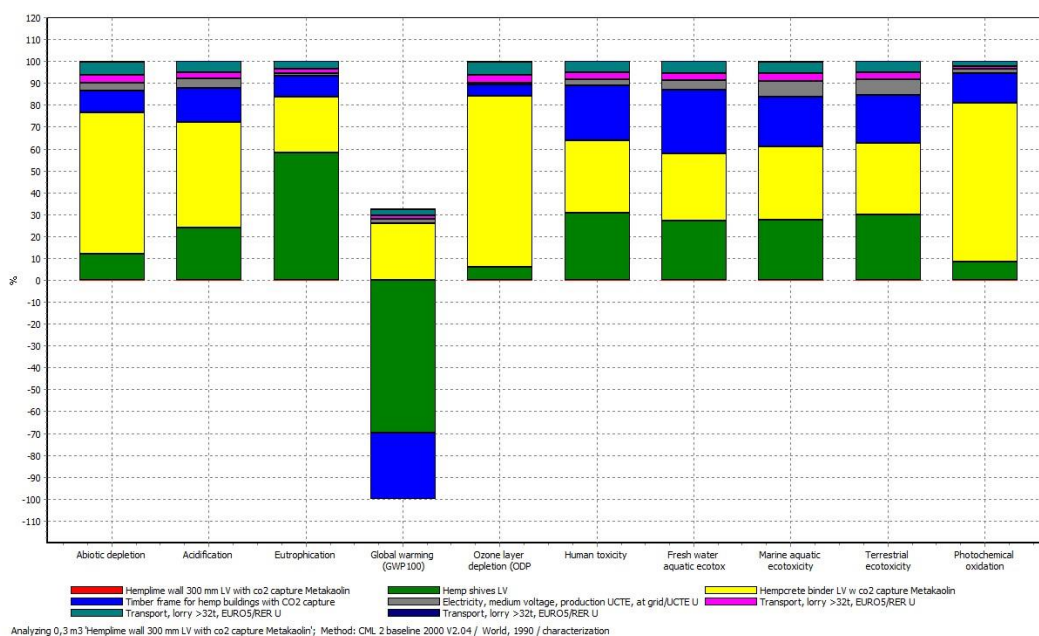
Grafiks 6 Funkcionālās vienības ar hidraulisko kaļķi ietekme uz vidi

Uz atsevišķiem faktoriem procentuāli lielu 20-30% ietekmi dod koka nesošais rāmis, kas saistīts ar lielo enerģijas daudzumu, kas ieguldīts koksnes žāvēšanā. Ja tiek lietota koksne, kura nav žāvēta piespiedu kārtā, tad no šīs emisijas ir iespējas samazināt. Transports sastāda 5-10% emisiju no visiem faktoriem, tā kā ar šādu transporta daudzumu tiek noklāta lielākā daļā Latvijas teritorijas, tad realitātē šis faktors būs mazāks.

Atsevišķi apskatot GWP faktoru, redzams, ka saistviela dod lielāko pienesumu – 55% no absorbētā daudzuma. Jāņem vērā, ka saistvielas absorbētais CO₂ daudzums jau ir iekļauts šajā emisiju daudzumā. Kopējais absorbētā CO₂ skaitliskais daudzums ir 13,1 kg CO₂ uz vienu funkcionālo vienību, kas ir 43,67 kg uz 1 m³ materiāla (Pielikums A Tīkls 5). Kā var redzēt, tad 30% no absorbētā daudzuma dod nesošā koka rāmis un 70% dod kaņepju spaļi.

3.4.2. Kaņepju-kaļķa sienas funkcionālā vienība ar hidrauliskā kaļķa saistvielu

Apskatot sienas funkcionālās vienības ar alternatīvo saistvielu ietekmi uz vidi no Grafika 7, var redzēt, ka tāpat kā ar hidrauliskā kaļķa saistvielu, arī šeit lielāko ietekmi dod saistviela, 25-70%. Kā no iepriekšējām sadaļām ir zināms, tad šī ietekme ir, galvenokārt, no



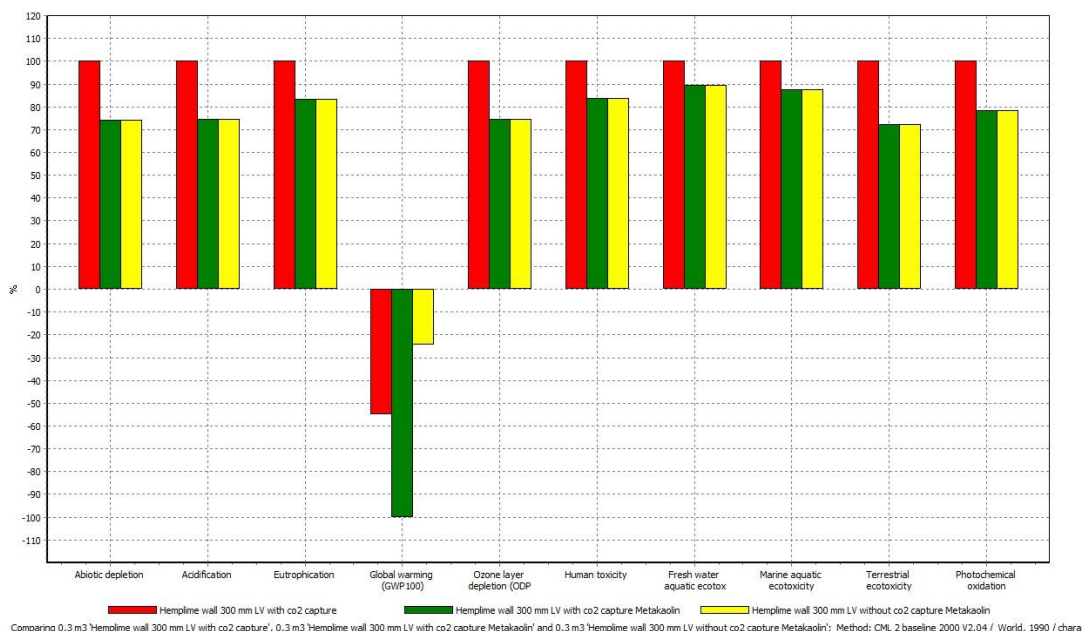
Grafiks 7 Funkcionālās vienības ar alternatīvo saistvielu ietekme uz vidi

veldzētā kaļķa un ar to saistītajām emisijām. Tāpat arī koka nesošais rāmis un kaņepju spaļi dod lielu ietekmi, līdzīgi kā hidrauliskā kaļķa saistvielas gadījumā.

Apskatot GWP faktoru, var redzēt, ka atšķirībā no hidrauliskā kaļķa saistvielas, šajā gadījumā saistviela rada daudz mazāku CO₂ daudzumu, kas skaidrojams ar lielo metakaolīna īpatsvaru saistvielā. Absolūtos skaitļos absorbētā CO₂ daudzums ir 23,52 kg uz funkcionālo vienību, kas ir 78,4 kg CO₂ uz 1m³ materiāla (Pielikums A Tabula 12). Apskatot šo pašu saistvielu, taču bez CO₂ absorbcijas, var redzēt, ka uz vienu funkcionālo vienību tiek absorbēti 5,72 kg CO₂, kas ir 19,07 kg uz 1m³.

3.4.3. Funkcionālo vienību salīdzinājums atkarībā no saistvielas

Apskatot Grafiku 8 kur redzams funkcionālo vienību salīdzinājums atkarībā no saistvielas, var secināt, ka alternatīvā saistviela uz visiem faktoriem atstāj pa 12-28% mazāku ietekmi ka hidrauliskā kaļķa saistvielā. Tāpat var redzēt, ka GWP faktora ietekmē, hidrauliskais kaļķis dod 55% no alternatīvās saistvielas CO₂ uzņemtā daudzuma, bet alternatīvā saistviela bez ierēķinātas saistvielas CO₂ karbonizācijas dod 23%. Šis grafiks parāda, ka saistvielas vai tās daļu aizstāšana ar mazāk emisiju radošām piedevām dod vēlamo efektu un samazina kopējo kaņepju-kaļķa emisiju apjomu pēc visiem faktoriem.



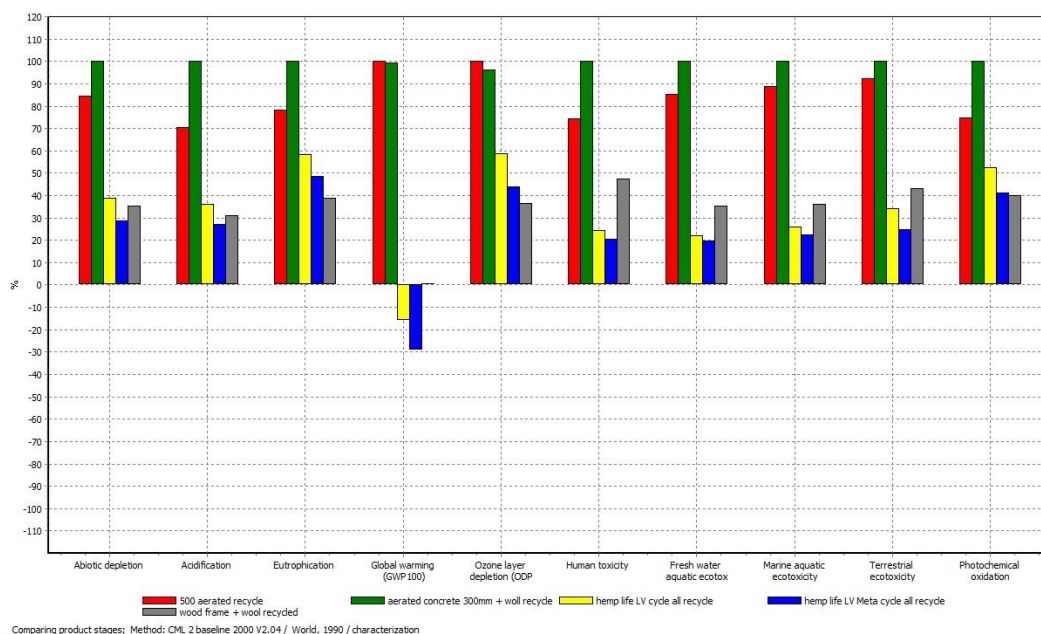
Grafiks 8 Funkcionālo vienību salīdzinājums atkarībā no saistvielas

3.5. Alternatīvu materiālu salīdzinājums

Lai pārliecinātos par kaņepju-kaļķa materiāla īpašībām un tās novērtētu, tas tiek salīdzināts ar alternatīviem materiāliem, kam ir tāda pati siltumcaurlaidība. Grafikā 9 var redzēt šo salīdzinājumu, kā arī Pielikuma A Tabulā 14.

Kā redzams no grafika, gāzbetona materiāli ir ar vidēji 4-5 reizes augstāku ietekmi uz faktoriem kā pārējie materiāli. Tas, galvenokārt, skaidrojams ar lielo enerģijas daudzumu, kas ir patērēts gan ražojot cementu – galveno gāzbetona sastāvdaļu, gan paša gāzbetona autoklāvēšanas laikā. Arī gāzbetonam izmantojamā līme ir energoietilpīga. Apskatot GWP faktoru, var redzēt, ka gāzbetons izdala vidēji 4 reizes vairāk CO₂, kā kaņepju-kaļķa funkcionālā vienība spēj absorbēt.

No grafika arī redzams, ka papildus siltinātai gāzbetona sienai ir pat lielāki emisiju faktori, ka sienai tikai no 500 mm gāzbetona. Tas skaidrojams ar to, ka akmens vate uz tilpumu dod pat lielākas emisijas kā gāzbetons, kas skaidrojams ar vēl lielāku enerģijas patēriņu ražošanas procesā, to var arī redzēt Pielikuma A Grafikā 20, kur redzams 300mm gāzbetona sienas sastāvdaļu emisiju sadalījums.



Grafiks 9 Alternatīvu materiālu salīdzinājums

No grafika 9 arī redzams, ka koka statņu siena, kas pildīta ar minerālvati ir ar daudz līdzīgākām emisijām kā kaņepju-kaļķa materiāls. No Grafika 21 Pielikumā A redzams, ka lielāko daļu 60-70% no visu faktoru emisijām dod tieši minerālvate. GWP faktora gadījumā koka statņa funkcionālā vienība izdala tikai 0,48 kg CO₂, kas padara šo materiālu par gandrīz CO₂ neitrālu.

4. Secinājumi

1. Veicot pētījumu tika pierādīts, ka kaņepju-kaļķa materiāli ir CO₂ negatīvi, ar hidrauliskā kaļķa saistvielu tie uzkrāj 13,1 kg CO₂ uz vienu funkcionālo vienību vai 43,67 kg uz 1 m³ materiāla vai arī alternatīvās saistvielas gadījumā tie uzkrāj 23,52 kg uz funkcionālo vienību vai 78,4 kg CO₂ uz 1 m³.
2. Lielāko emisiju daudzumu (45-55%) kaņepju audzēšanas daļā dod minerālmēsli, gan no to ražošanas, gan lietošanas viedokļa, tādēļ tiek ieteikti dažādi veidi kā samazināt to daudzumu - piemēram lietojot sedzošos kultūraugus, papildinot slāpekļa mēslojumu pēc augu uzdīgšanas, plašāk lietojot augsnes testus optimāla slāpekļa daudzuma noteikšanai, u.c. To samazināšana arī pozitīvi ietekmētu GWP rādītāju.
3. Tāpat arī dīzeļdegviela dod lielu pienesumu no emisiju viedokļa (5-35%), taču tās daudzuma samazināšana šobrīd nav tehnoloģiski iespējama. Apsverama būtu biodīzeļa lietošana, kas radītu emisiju samazinājumu dažās kategorijās, taču radītu palielinājumu pie eutrofikācijas, tāpēc šī pētījuma ietvaros netika apskatīta.
4. Pārstrādes procesi uz 8 no 10 ietekmes faktoriem atstāj procentuāli lielu ietekmi – no 35 līdz 60%, galvenokārt no elektrības patērēšanas un iekārtu izmantošanas. Šo var samazināt pārejot uz atjaunojamiem un mazāk piesārņojošiem elektroenerģijas veidiem.
5. Salīdzinot hidrauliskā kaļķa saistvielu ar eksperimentālo saistvielu var redzēt, ka lielākajā daļā rādītāju eksperimentālā saistviela uzrāda labākus rezultātus par 40-60%. Tas skaidrojams ar to, ka energoietilpīgas hidrauliskā kaļķa saistvielas tika aizstātas ar metakaolīnu, kas ir blakusproduktus, un pēc ekonomiskā sadalījuma tikai maza daļa no putustikla ražošanas emisijām tiek piešķirti metakaolīnam.
6. Apskatot funkcionālās vienības, var redzēt, ka vislielāko emisiju daudzumu dod saistviela, tad seko spaļi un koka statņu rāmis.

7. Salīdzinot saistvielas var secināt, ka alternatīvā saistviela uz visiem faktoriem atstāj par 12-28% mazāku ietekmi kā hidrauliskā kaļķa saistviela. Tāpat var redzēt, ka GWP faktora ietekmē, hidrauliskais kaļķis dod 55% no alternatīvās saistvielas CO₂ uzņemtā daudzuma. Tas pierāda, ka saistvielas vai tās daļu aizstāšana ar mazāk emisiju radošām piedevām dod vēlamo efektu un samazina kopējo kaņepju-kaļķa emisiju apjomu pēc visiem faktoriem.
8. Salīdzinot ar cietiem materiāliem (gāzbetonu, gāzbetonu + akmens vati, koka statņu karkasu+minerālvati) kaņepju-kaļķa kompozīts uzrāda 2-4 reizes zemākas emisijas un ir vienīgais no materiāliem, kas ir CO₂ neitrāls, kas pierāda šī materiāla augstvērtīgās ekoloģiskās īpašības.

Atsauces

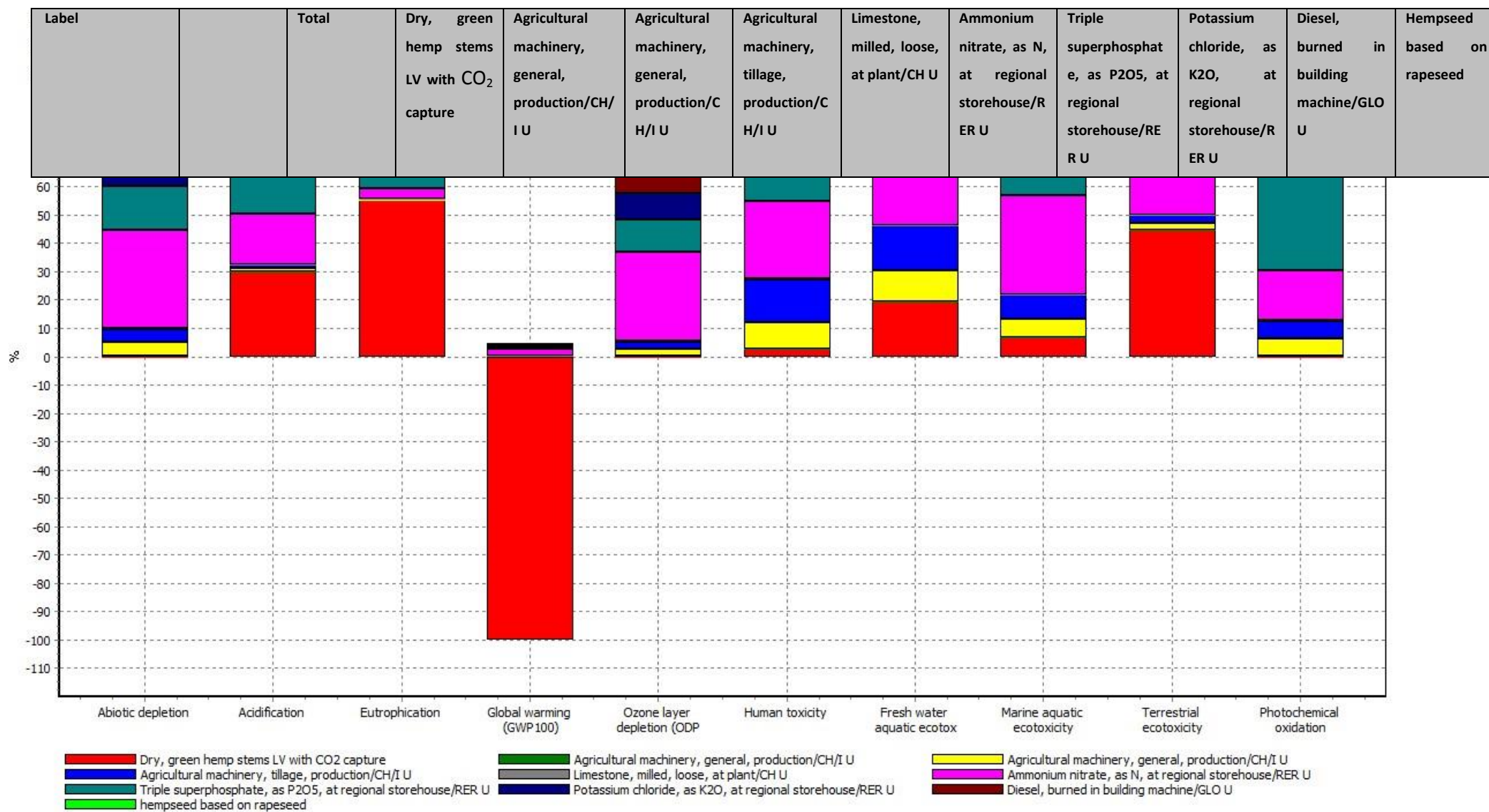
1. „Industriālo kaņepju (*Cannabis sativa* L.) audzēšanas un novākšanas tehnoloģiju izstrāde produkcijas ieguvei ar augstu pievienoto vērtību” Pārskats par 2013. gadu, Dr. agr. V. Stramkale, SIA” Latgales lauksaimniecības zinātnes centrs”, Vīļāni, 2013
2. „Multipurpose hemp for bioproducts and biomass” (Kaņepju izmantošana bioproduktos un biomasas ieguvei), akronīms – MultiHemp, ar Eiropas Komisijas kontrakta numuru Nr.311849 Pārskats par 2015. gadu, SIA” Latgales lauksaimniecības zinātnes centrs”, Vīļāni, 2015
3. Research of hemp cultivation in Latvia by “Latgale Agriculture Research Centre” (SIA “Latgales Lauksaimniecības zinātnes centrs”), RESEARCH RESULTS YEAR 2012, Leading researcher Dr.agr. Veneranda Stramkale
4. Life cycle greenhouse gas emissions of hemp–lime wall constructions in the UK, Kenneth Ip*, Andrew Miller, University of Brighton, School of Environment and Technology, Cockcroft Building, Lewes Road, Brighton BN2 4GJ, United Kingdom, Resources, Conservation and Recycling 69 (2012) 1–9
5. Life cycle assessment of a hemp concrete wall: Impact of thickness and coating, Sylvie Pretot, Florence Collet*, Charles Garnier, Université Européenne de Bretagne, Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique, Building and Environment 72 (2014) 223–231
6. Life Cycle Analysis of Hemp Textile Yarn, Comparison of three hemp fibre processing scenarios and a flax scenario INRA — Institut National de la Recherche Agronomique French National Institute for Agronomy Research Unite Mixte de Recherche FRANCE, Lea Turunen Hayo van der Wed, Version of 31 May 2006
7. Sinka, M., Sahmenko, G., Korjajins, A., Rādīņa, L., Bajare, D. Hemp Thermal Insulation Concrete with Alternative Binders, Analysis of Their Thermal and Mechanical Properties. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2015, Vol.96, Iss.1, 1.-10.lpp. ISSN 1757-8981. e-ISSN 1757-899X
8. Sinka M., Sahmenko G., Korjajins A., Mechanical Properties of Pre-Compressed Hemp-Lime Concrete, Proceedings of the 4th international conference “Advanced Construction 2014”, Kaunas, Lithuania, 9.-10. October, 2014. Kaunas: 2014, 97. p. ISSN 2029-1213
9. Sinka M., Sahmenko G., Sustainable Thermal Insulation Biocomposites from locally available Hemp and Lime, 4th International Scientific and Practical Conference "Environment. Technology. Resources": Proceedings, Vol.1., Latvia, Rezekne, 20.-22. June, 2013. Rezekne: RA, 2013, 73.-77.p. ISSN 1691-5402
10. ECETOC, 1994. Ammonia emissions to air in Western Europe. Technical report no. 62. European Chemical Industry Ecology & Toxicology Centre, Brussels, Belgium.
11. Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S., van Cleemput, O., 1998. Closing the global N2O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. Nutrient Cycling in Agroecosystems 52: 225-248.
12. van der Werf, H.M.G., 2004. Life Cycle Analysis of field production of fibre hemp, the effect of production practices on environmental impacts. Euphytica 140: 13-23.

Pielikums A

Tabula 6

Nosaukums	Vienības	Daudzums	Tehnikas svars (kg)	Kalpošanas ilgums (h)	Kalpošanas ilgums (ha)	Braucienu skaits	Mašīnstundas	Kg traktora vai citas tehnikas
Ievadne								
Augsnes sagatavošana								
Pamata augsnes sagatavošana:								
Aršana								
Tehnika								
4-korpusu arklis			1300		1200	1		1,08
Traktors (75 kW)			4700	4200		1	1,25	1,40
Degviela								
Dīzelis (16 L/h)	L	20						
Sēklu gultnes sagatavošana								
Tehnika								
Veltnis (5m)			1100		500	1		2,20
Traktors (75 kW)			4700	4200		1	0,20	0,22
Degviela								
Dīzelis (15 L/h)	L	3						
Kultivēšana								
Tehnika								
Kultivātors (3m) (1x)			1000		540	1		1,85
Traktors (75 kW)			4700	4200		1	0,75	0,84
Degviela								
Dīzelis (15 L/h)	L	11,25						
Augsnes mēslošana								
Tehnika								
Kaļķotājs (0.33x)			1400		3000	0,33		0,15
Traktors (50 kW)			3900	7200		0,33	0,13	0,07
Minerālmēsli izklidētājs			280		3000	3		0,25
Traktors (50 kW)			3900	7200		2	0,7	0,36

Degviela								
Dīzelis (15 L/h)	L	7,36						
Minerālais mēslojums								
Kaļķis	kg	360						
Amonija nitrāts 33/0/0	kg	228						
3-superfosfāts 0/46/0/0	kg	146,0						
Kālija hlorīds 0/0/60/0	kg	245						
Sēšana								
Tehnika								
Rotējošās ecēšas (3 m)			1000		540	1		1,85
Sējmašīna (3 m)			550		525	1		1,05
Traktors (75 kW)			4700	4200		1	1,00	1,12
Degviela								
Dīzelis (15 L/h)	L	15						
Sēklas	kg	50						
Novākšana - pļaušana								
Tehnika								
Asmens pļāvējs			7550		1500	2		10,07
Degviela								
Dīzelis (5 L/h)	L	21						
Ievadnes kopsavilkums								
Amonija nitrāts 33/0/0, izteikts N	kg				80			
3-superfosfāts 0/46/0/0, izteikts P2O5	kg				70,1			
Kālija hlorīds 0/0/60/0, izteikts K2O	kg				147			
Kaļķis	kg				360			
Sēklas	kg				50			
Degviela - dīzelis (*38 uz MJ)	L				2935,0			
Kg traktora (kat. A)	kg						4,02	
Kg harvestera (kat. B)	kg						10,07	
Kg citas tehnikas (kat. C)	kg						8,44	

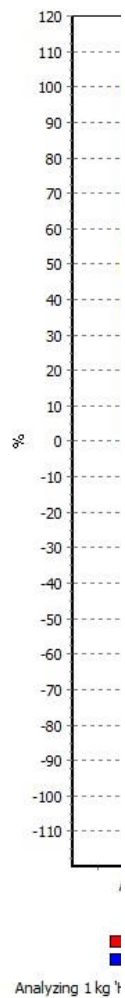


Analyzing 1 kg 'Dry, green hemp stems LV with CO₂ capture'; Method: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990 / characterization

0,
Amn
as N
store
0,0421

0,
Amn
reform
pl
0,011

Abiotic depletion	kg Sb eq	0,000392903	0	7,69196E-09	1,92682E-05	1,82524E-05	1,85952E-06	0,000136227	6,00968E-05	3,87033E-05	0,000108169	1,03188E-05
Acidification	kg SO2 eq	0,000664835	0,000198123	3,28937E-09	8,2398E-06	8,22231E-06	1,32893E-06	0,00011902	0,000156556	1,62825E-05	0,000125171	3,18888E-05
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,000618972	0,000341041	5,30027E-10	1,3277E-06	1,2767E-06	2,30048E-07	2,347E-05	0,000180416	2,45787E-06	2,68182E-05	4,19348E-05
Global warming (GWP100)	kg CO ₂ eq	-1,701115237	-1,782340276	9,46479E-07	0,002370905	0,002321815	0,000282045	0,041899017	0,008775218	0,004730519	0,01625881	0,004585762
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	6,4049E-09	0	6,47315E-14	1,62151E-10	1,51252E-10	3,77053E-11	1,9992E-09	7,51021E-10	5,79245E-10	2,02203E-09	7,02229E-10
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	0,043211981	0,001105818	1,64694E-06	0,004125538	0,006537222	9,2408E-05	0,011840976	0,00541385	0,003710271	0,010230164	0,000154087
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	0,007507263	0,001461873	3,23195E-07	0,000809595	0,001186016	1,50237E-05	0,001664516	0,001288809	0,00066049	0,000388301	3,23169E-05
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	12,62497228	0,868407138	0,000311148	0,779416759	1,09473496	0,0289713	4,412234711	3,099280961	0,847550145	1,393572378	0,100492777
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,000543349	0,000243046	5,11723E-09	1,28185E-05	1,54119E-05	9,71744E-07	0,000160823	7,01555E-05	2,16868E-05	1,75826E-05	8,47519E-07
Photochemical oxidation	kg C2H4	1,55567E-05	0	3,97789E-10	9,96452E-07	9,40253E-07	4,42146E-08	2,71292E-06	6,41145E-06	9,66304E-07	3,2099E-06	2,74752E-07

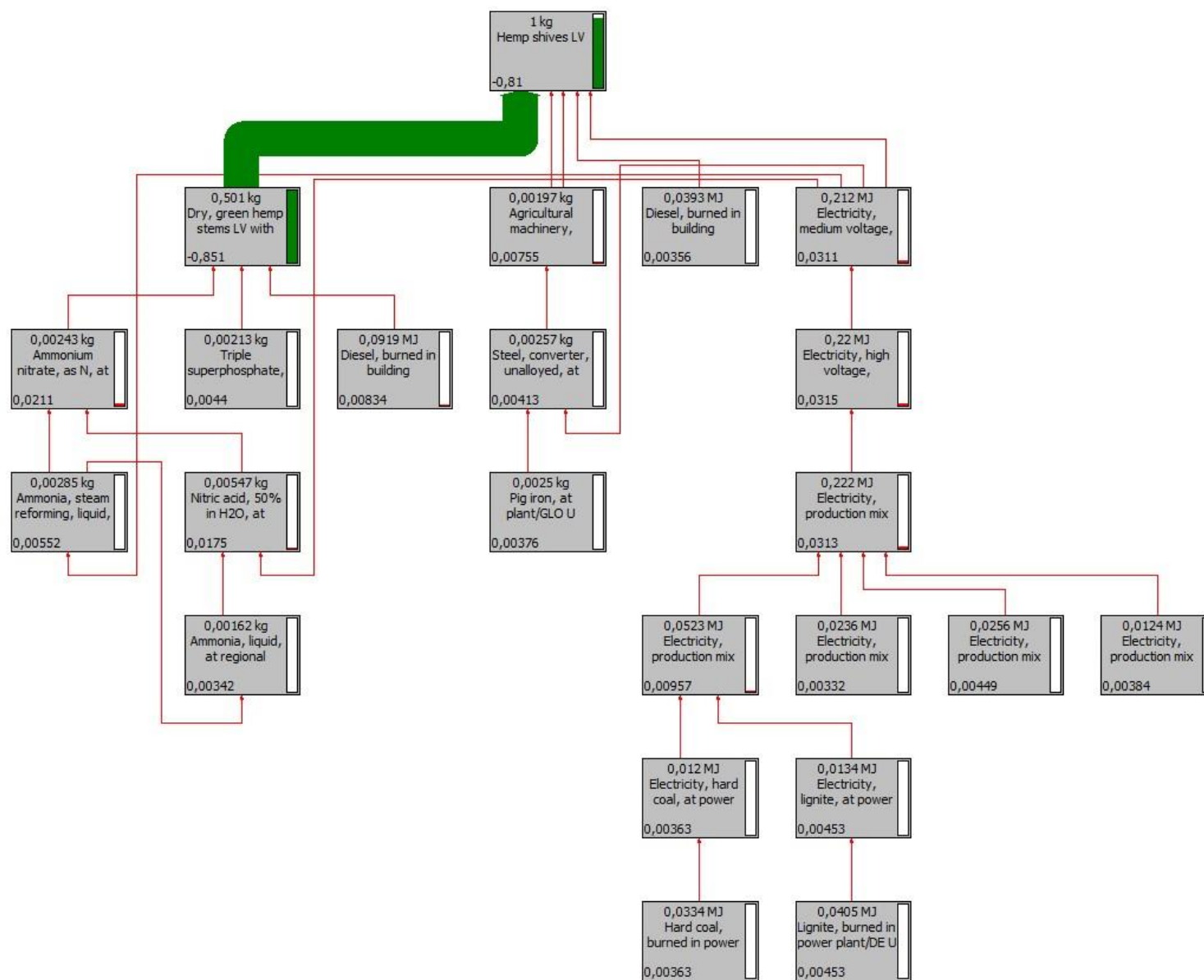


Label	Unit	Total	Hemp shives LV	Dry, green hemp stems LV with CO ₂ capture	Agricultural machinery, general, production/CH/I U	Agricultural machinery, general, production/CH/I U	Diesel, burned in building machine/GLO U	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U
-------	------	-------	----------------	---	--	--	--	--

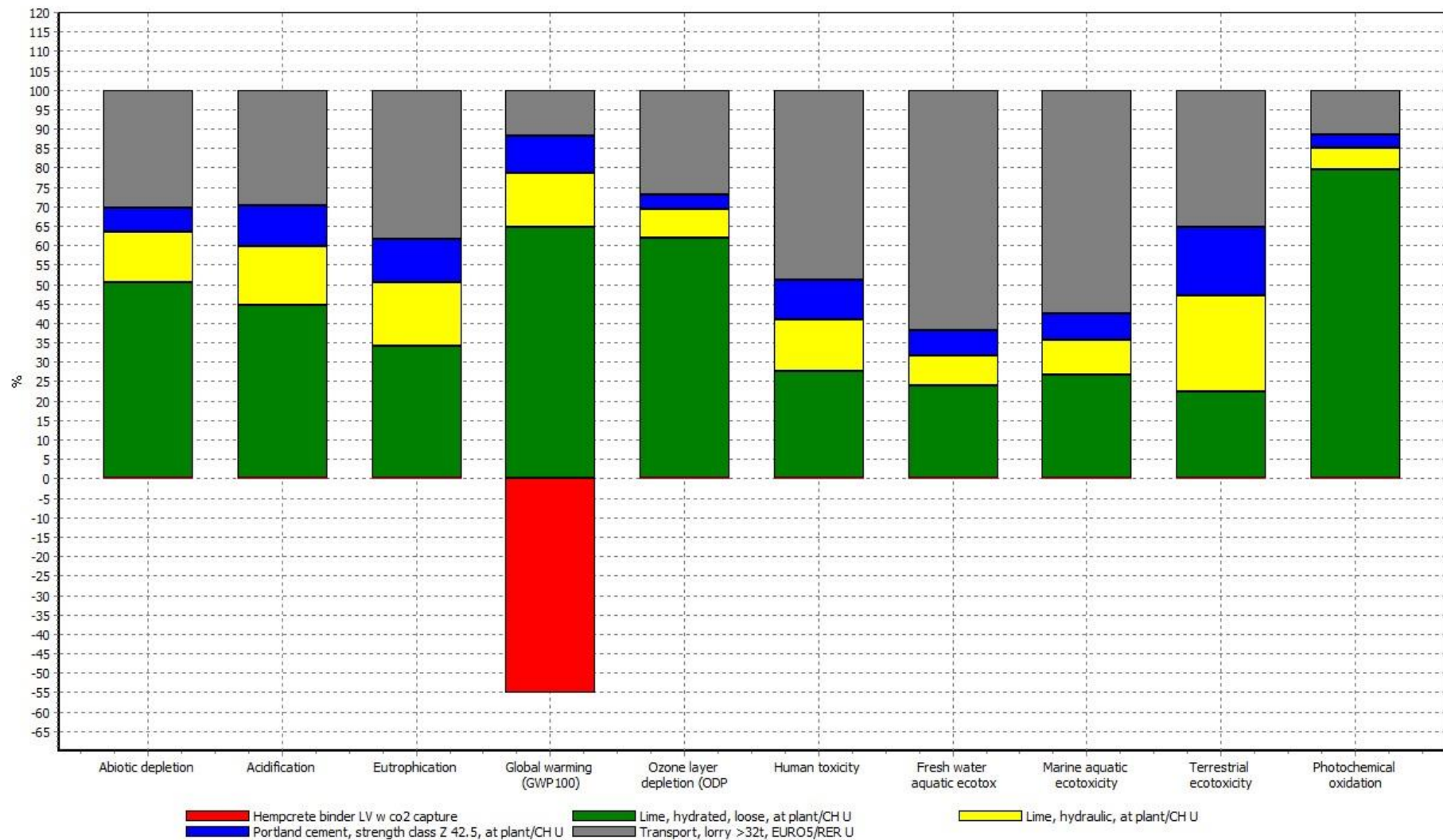
Grafiks 11

Tabula 8

Abiotic depletion	kg Sb eq	0,000501556	0	0,000196648	8,53282E-06	5,3524E-05	2,26331E-05	0,000220219
Acidification	kg SO ₂ eq	0,000525904	0	0,00033275	3,64896E-06	2,28889E-05	2,61905E-05	0,000140425
Eutrophication	kg PO ₄ --- eq	0,000327168	0	0,000309796	5,87968E-07	3,68816E-06	5,61139E-06	7,4851E-06
Global warming (GWP100)	kg CO ₂ eq	-0,81060947	0	-0,851408176	0,001049945	0,006586019	0,003401961	0,029760782
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	5,46485E-09	0	3,20565E-09	7,18077E-11	4,5043E-10	4,23085E-10	1,31387E-09
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	0,042621668	0	0,021627596	0,001826976	0,011460123	0,002140539	0,005566434
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	0,008485009	0	0,003757385	0,000358526	0,002248934	8,12472E-05	0,002038916
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	14,61584693	0	6,318798624	0,345161267	2,165102492	0,291588283	5,495196265
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,000477343	0	0,000271946	5,67663E-06	3,56079E-05	3,67895E-06	0,000160433
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄	1,72307E-05	0	7,7861E-06	4,41274E-07	2,76799E-06	6,71634E-07	5,56368E-06



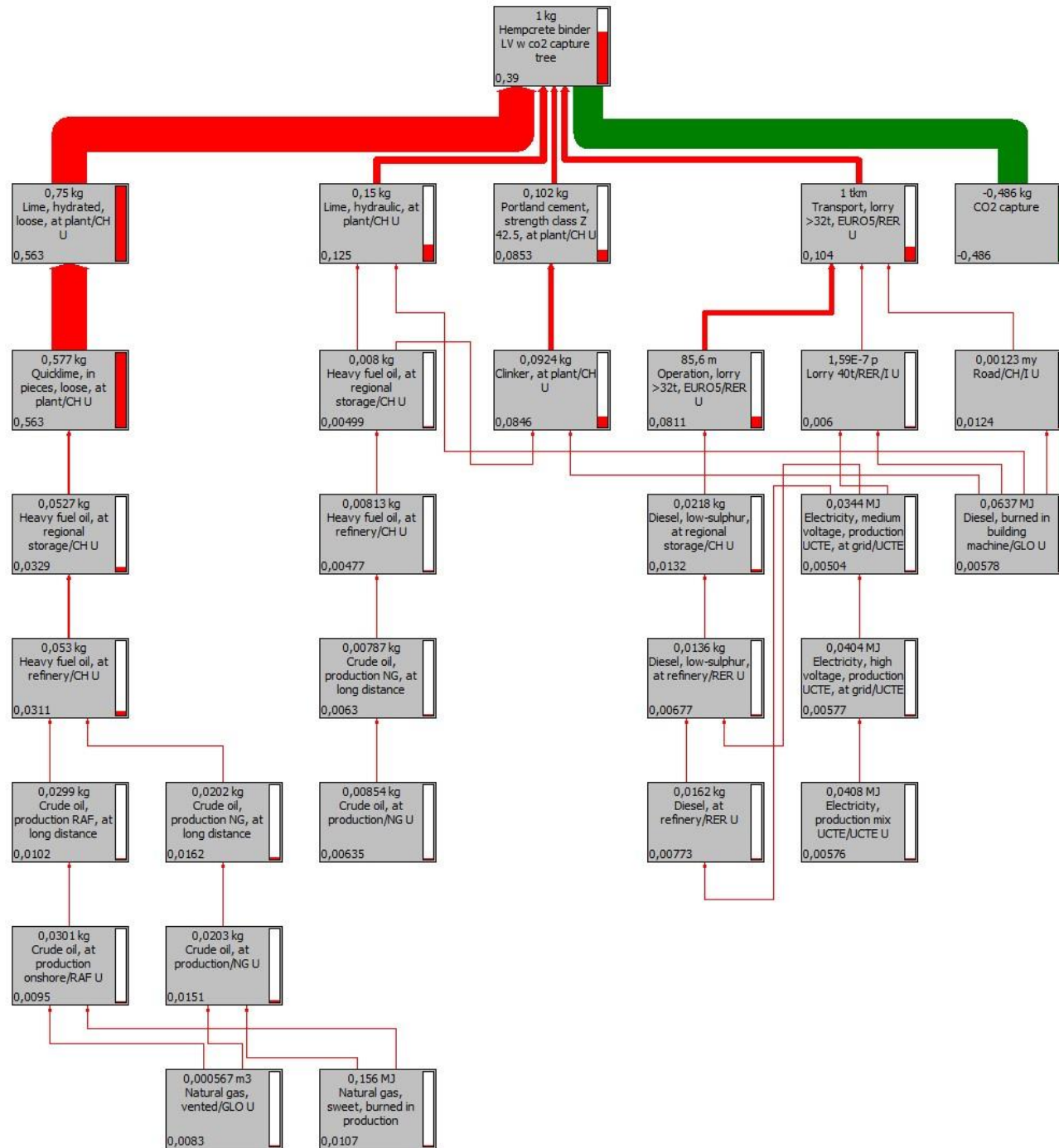
Grafiks 12

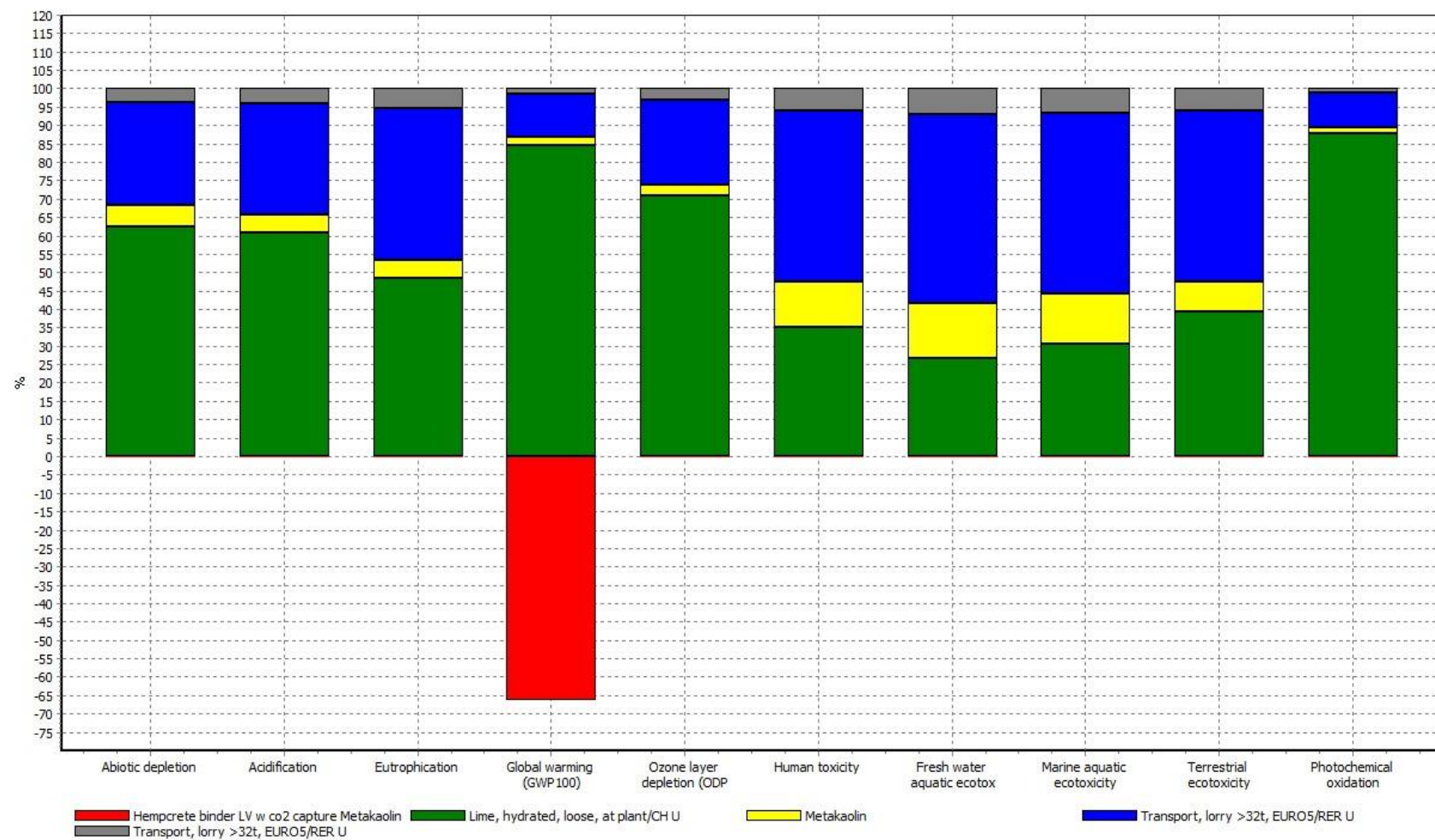


Analyzing 1 kg 'Hempcrete binder LV w co2 capture'; Method: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990 / characterization

Tabula 9

Label	Unit	Total	Hempcrete binder LV w CO ₂ capture	Lime, hydrated, loose, at plant/CH U	Lime, hydraulic, at plant/CH U	Portland cement, strength class Z 42.5, at plant/CH U	Transport, lorry >32t, EURO5/RER U
Abiotic depletion	kg Sb eq	0,002548496	0	0,00129038	0,000328561	0,000157501	0,000772053
Acidification	kg SO2 eq	0,001092084	0	0,00048633	0,000167611	0,000114425	0,000323718
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,000152606	0	5,19415E-05	2,50395E-05	1,71013E-05	5,8524E-05
Global warming (GWP100)	kg CO ₂ eq	0,39282935	-0,48555	0,566984575	0,124462945	0,083493054	0,103438776
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	6,31955E-08	0	3,91484E-08	4,67937E-09	2,28985E-09	1,70779E-08
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	0,043540363	0	0,012014306	0,005790752	0,004503913	0,021231393
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	0,007935022	0	0,001902151	0,000612574	0,000510826	0,004909471
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	15,31012534	0	4,089207482	1,361087874	1,054558853	8,805271132
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,000684789	0	0,000153521	0,000168806	0,000121038	0,000241425
Photochemical oxidation	kg C2H4	0,0001202	0	9,54673E-05	6,6452E-06	4,34896E-06	1,37388E-05



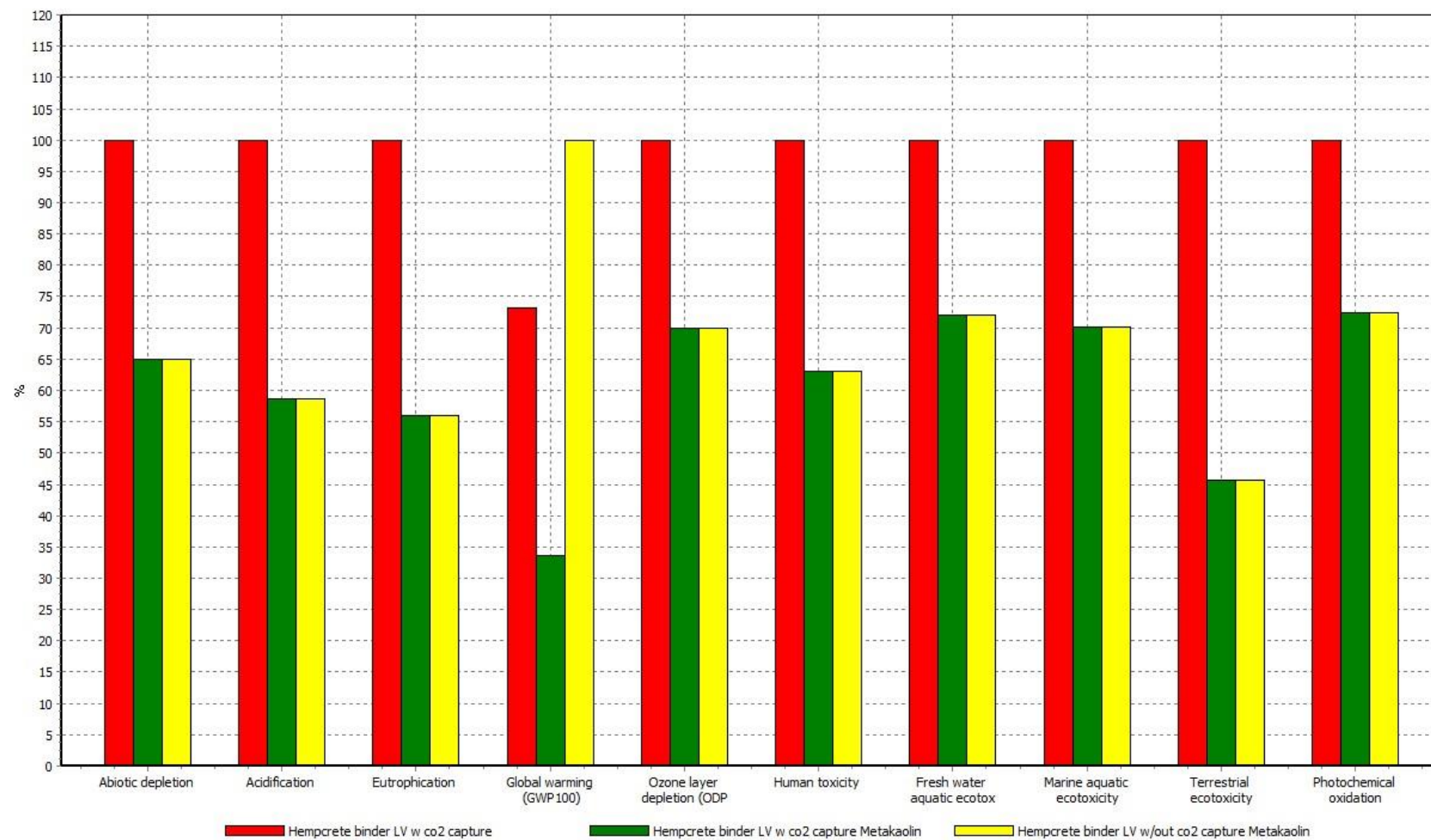


Analyzing 1 kg 'Hempcrete binder LV w co2 capture Metakaolin'; Method: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990 / characterization

Grafiks 14

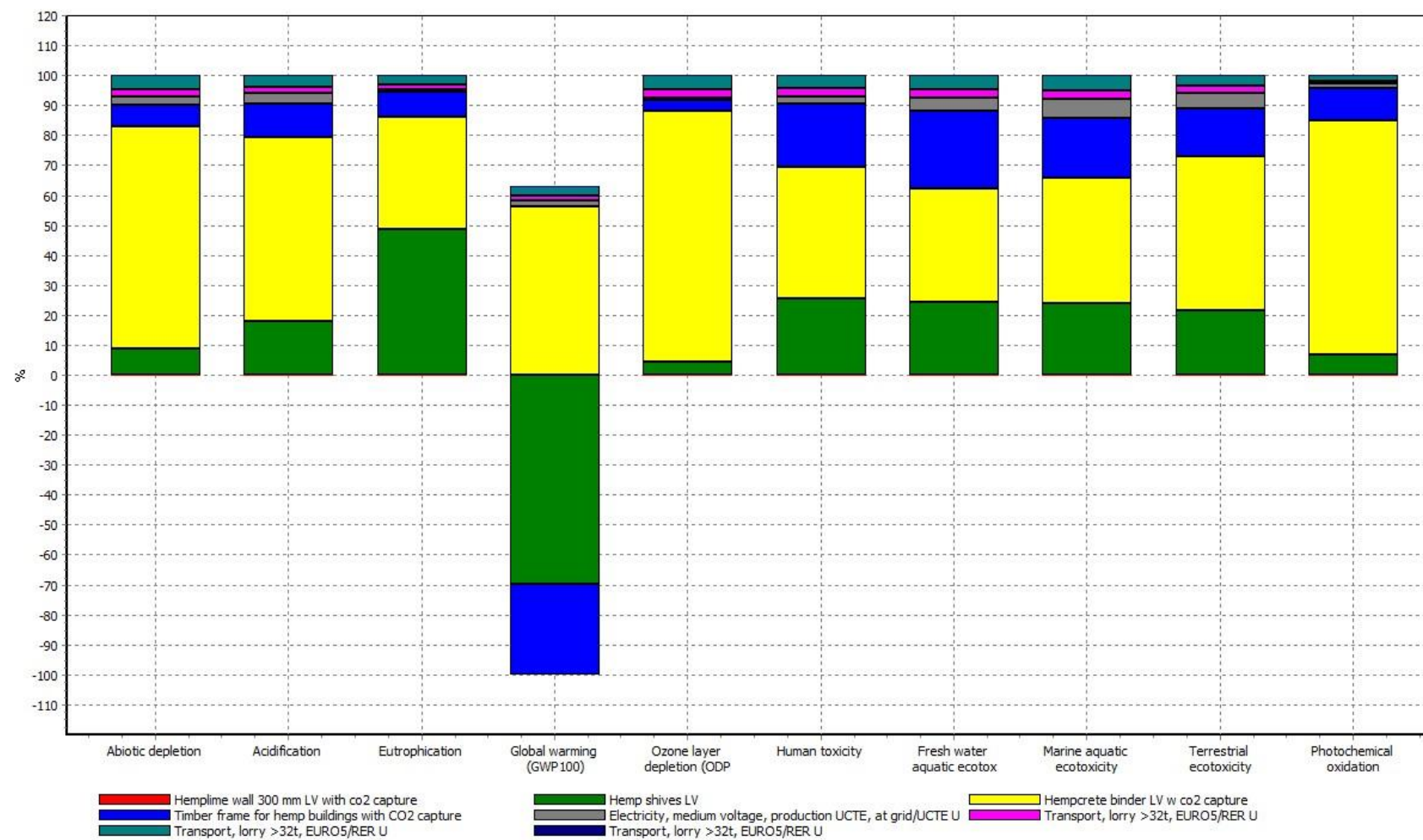
Tabula 10

Label	Unit	Total	Hempcrete binder LV w CO ₂ capture Metakaolin	Lime, hydrated, loose, at plant/CH U	Metakaolin	Transport, lorry >32t, EURO5/RER U	Transport, lorry >32t, EURO5/RER U
Abiotic depletion	kg Sb eq	0,001654977	0	0,001032304	9,76766E-05	0,000463232	6,17643E-05
Acidification	kg SO ₂ eq	0,000640677	0	0,000389064	3,14841E-05	0,000194231	2,58975E-05
Eutrophication	kg PO ₄ --- eq	8,55136E-05	0	4,15532E-05	4,16416E-06	3,51144E-05	4,68192E-06
Global warming (GWP100)	kg CO ₂ eq	0,180548063	-0,356	0,45358766	0,012622036	0,062063266	0,008275102
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	4,41467E-08	0	3,13187E-08	1,21496E-09	1,02467E-08	1,36623E-09
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	0,027493089	0	0,009611445	0,003444298	0,012738836	0,001698511
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	0,005709015	0	0,00152172	0,000848855	0,002945682	0,000392758
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	10,73266408	0	3,271365986	1,473713726	5,283162681	0,704421691
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,000313208	0	0,000122817	2,62221E-05	0,000144855	1,9314E-05
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄	8,7123E-05	0	7,63738E-05	1,40677E-06	8,24327E-06	1,0991E-06



Comparing 1 kg 'Hempcrete binder LV w co2 capture', 1 kg 'Hempcrete binder LV w co2 capture Metakaolin' and 1 kg 'Hempcrete binder LV w/out co2 capture Metakaolin'; Method: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990 / characterization

Grafiks 15

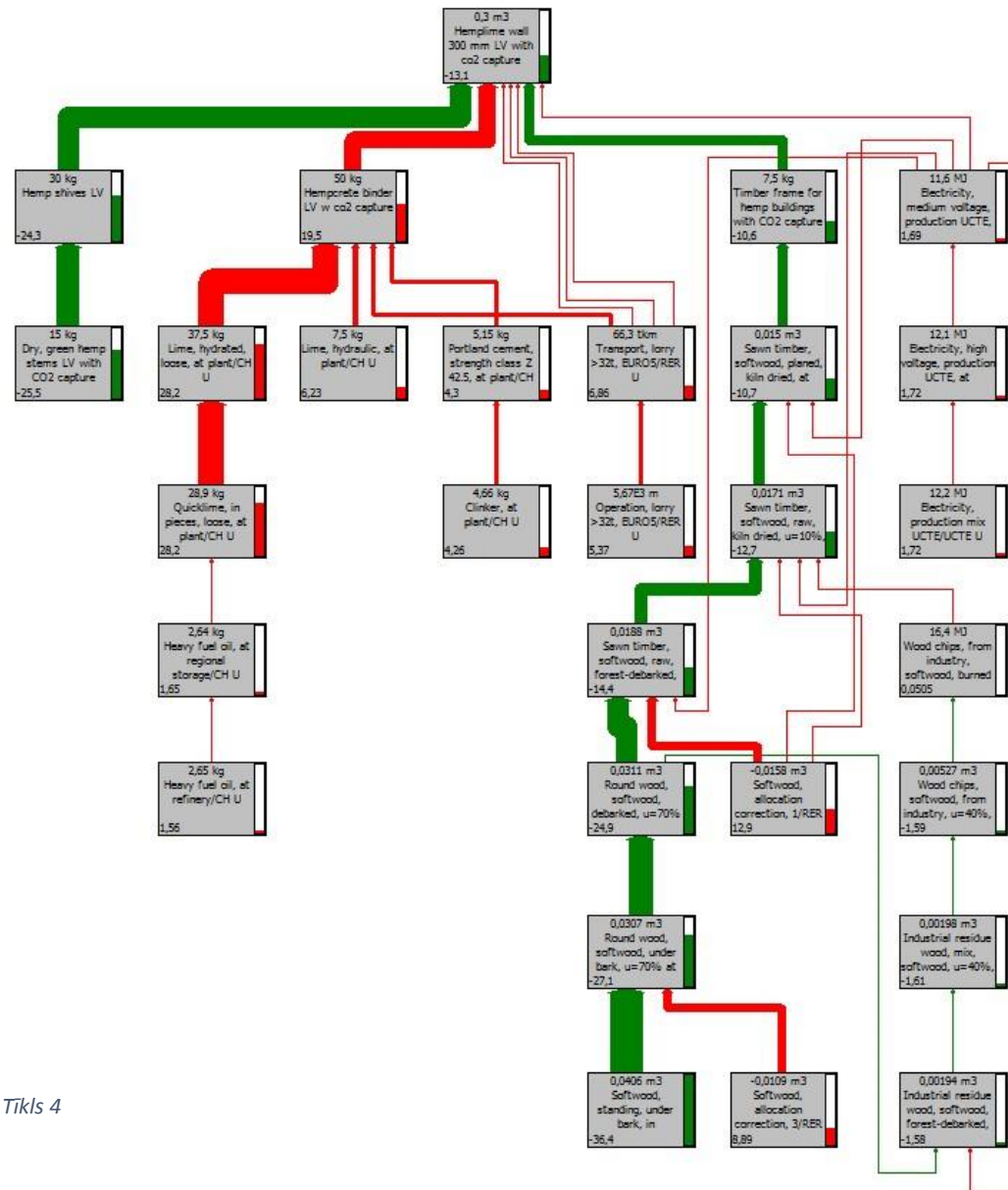


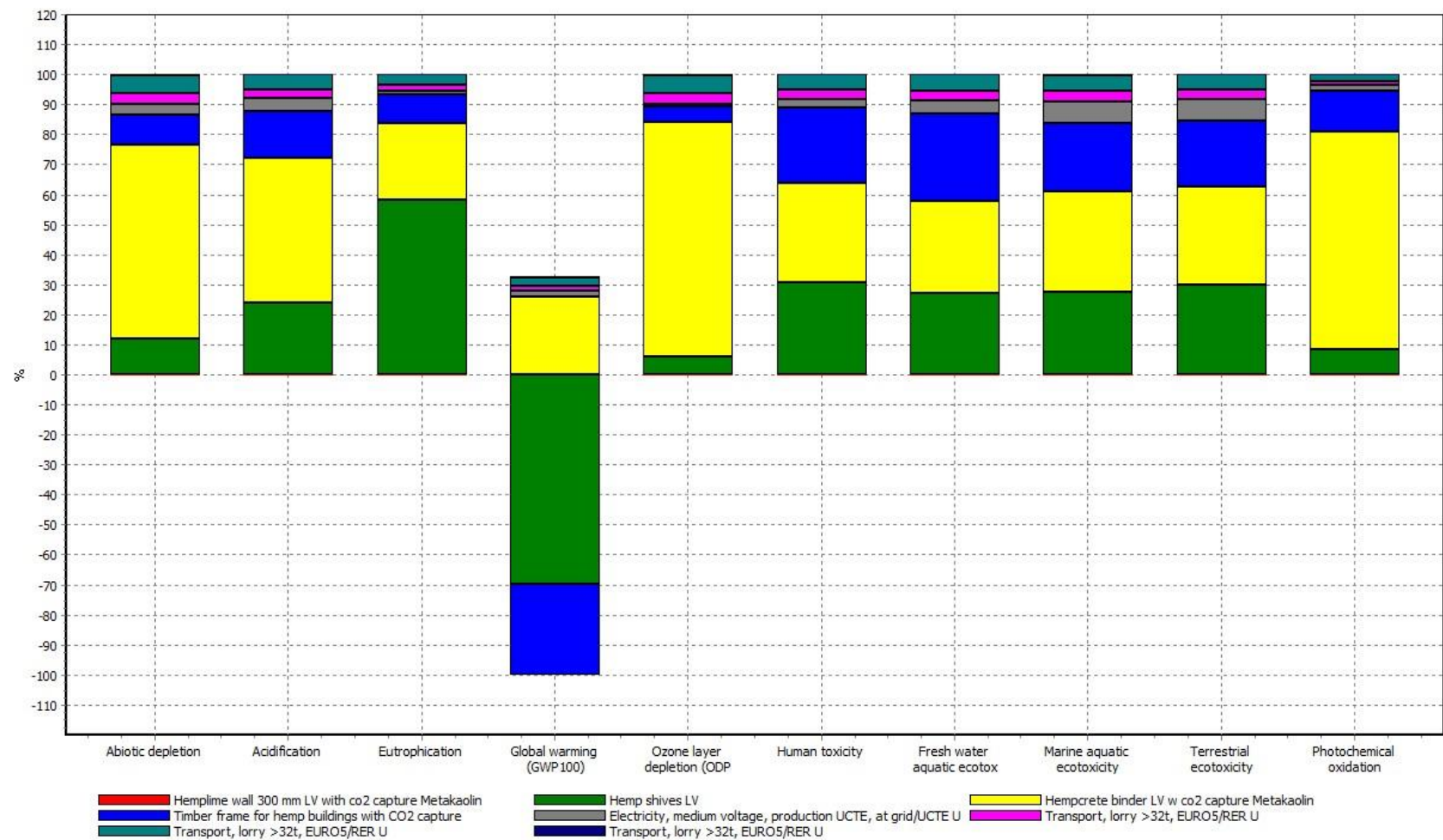
Analyzing 0,3 m3 'Hemplane wall 300 mm LV with co2 capture'; Method: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990 / characterization

Grafiks 16

Tabula 11

Label	Unit	Total	Hemplime wall 300 mm LV with CO ₂ capture	Hemp shives LV	Hempcrete binder LV w CO ₂ capture	Timber frame for hemp buildings with CO ₂ capture	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	Transport, lorry >32t, EUROS/RER U	Transport, lorry >32t, EUROS/RER U	Transport, lorry >32t, EUROS/RER U
Abiotic depletion	kg Sb eq	0,172148811	0	0,015046692	0,127424794	0,012438156	0,004693304	0,004632319	0,007720532	0,000193013
Acidification	kg SO2 eq	0,088719993	0	0,015777115	0,054604199	0,010085506	0,00299275	0,00194231	0,003237184	8,09296E-05
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,020214282	0	0,009815045	0,007630313	0,001658387	0,000159523	0,000351144	0,00058524	1,4631E-05
Global warming (GWP100)	kg CO ₂ eq	-12,90710461	0	-24,3182841	19,64146748	-10,54543051	0,634262412	0,620632656	1,03438776	0,025859694
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	3,76477E-06	0	1,63945E-07	3,15978E-06	1,35535E-07	2,80013E-08	1,02467E-07	1,70779E-07	4,26947E-09
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	4,972747295	0	1,278650042	2,177018154	1,053437021	0,118631954	0,127388353	0,212313922	0,005307848
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	1,044780967	0	0,254550265	0,396751081	0,2702473	0,043453426	0,029456823	0,049094705	0,001227368
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1828,083508	0	438,475407	765,5062651	363,9024408	117,11374	52,83162655	88,05271091	2,201317773
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,06650574	0	0,014320277	0,034239474	0,010603683	0,003419153	0,001448549	0,002414248	6,03562E-05
Photochemical oxidation	kg C2H4	0,007689672	0	0,000516921	0,006010011	0,000820912	0,000118573	8,24327E-05	0,000137388	3,4347E-06





Analyzing 0,3 m3 'Hempime wall 300 mm LV with co2 capture Metakaolin'; Method: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990 / characterization

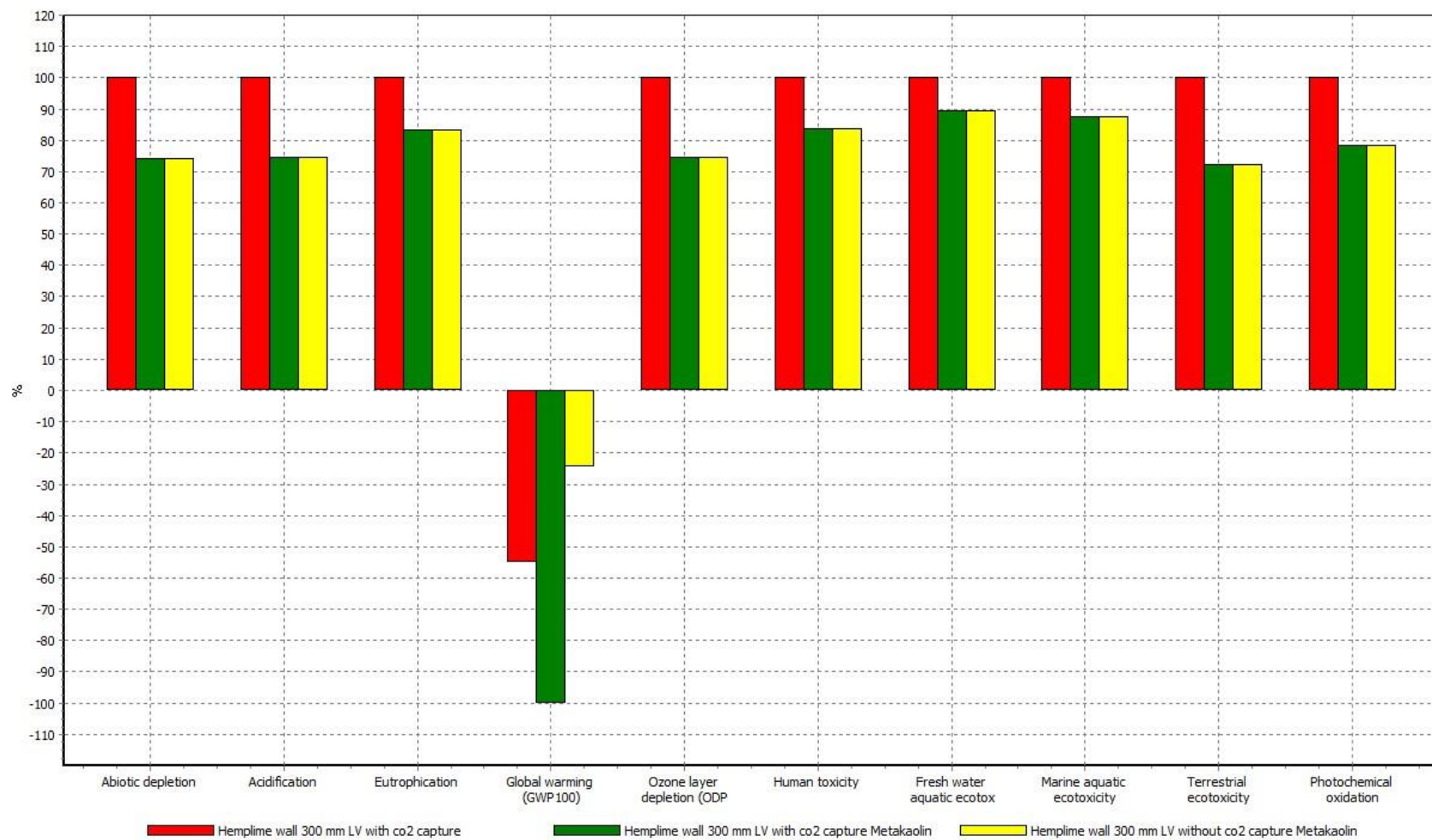
Grafiks 17

Tabula 12

Label	Unit	Total	Hemplime wall 300 mm LV with CO ₂ capture	Hemp shives LV	Hempcrete binder LV w CO ₂ capture	Timber frame for hemp buildings with CO ₂ capture	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	Transport, lorry >32t, EUROS/RER U	Transport, lorry >32t, EUROS/RER U	Transport, lorry >32t, EUROS/RER U
Abiotic depletion	kg Sb eq	0,127472868	0	0,015046692	0,082748852	0,012438156	0,004693304	0,004632319	0,007720532	0,000193013
Acidification	kg SO2 eq	0,066149634	0	0,015777115	0,03203384	0,010085506	0,00299275	0,00194231	0,003237184	8,09296E-05
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,016859652	0	0,009815045	0,004275682	0,001658387	0,000159523	0,000351144	0,00058524	1,4631E-05
Global warming (GWP100)	kg CO ₂ eq	-23,52116894	0	-24,3182841	9,027403147	-10,54543051	0,634262412	0,620632657	1,034387761	0,025859694
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	2,81233E-06	0	1,63945E-07	2,20733E-06	1,35535E-07	2,80013E-08	1,02467E-07	1,70779E-07	4,26947E-09
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	4,170383615	0	1,27865005	1,37465446	1,053437021	0,118631954	0,127388356	0,212313926	0,005307848
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	0,933480659	0	0,254550266	0,285450771	0,2702473	0,043453426	0,029456823	0,049094705	0,001227368
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1599,21045	0	438,4754083	536,6332046	363,9024408	117,11374	52,83162686	88,05271144	2,201317786
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,047926646	0	0,014320277	0,01566038	0,010603683	0,003419153	0,001448549	0,002414248	6,03562E-05
Photochemical oxidation	kg C2H4	0,006035809	0	0,000516921	0,004356148	0,000820912	0,000118573	8,24327E-05	0,000137388	3,4347E-06

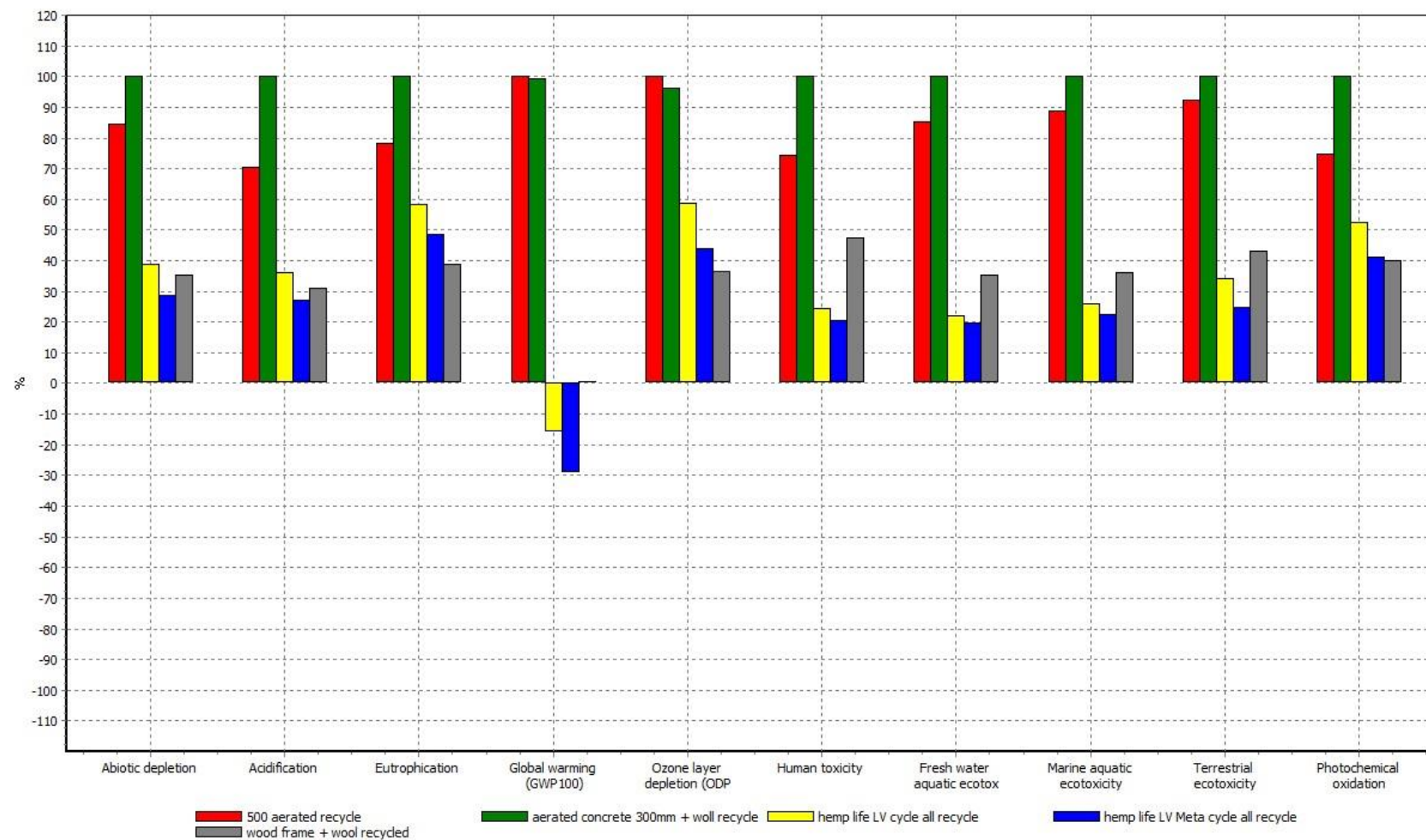
Tabula 13

Label	Unit	Total	Hemplime wall 300 mm LV without CO ₂ capture Metakaolin	Hemp shives LV	Hempcrete binder LV w/out CO ₂ capture Metakaolin	Timber frame for hemp buildings with CO ₂ capture	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	Transport, lorry >32t, EURO5/RER U	Transport, lorry >32t, EURO5/RER U	Transport, lorry >32t, EURO5/RER U
Abiotic depletion	kg Sb eq	0,127472868	0	0,015046692	0,082748852	0,012438156	0,004693304	0,004632319	0,007720532	0,000193013
Acidification	kg SO ₂ eq	0,066149634	0	0,015777115	0,03203384	0,010085506	0,00299275	0,00194231	0,003237184	8,09296E-05
Eutrophication	kg PO ₄ --- eq	0,016859652	0	0,009815045	0,004275682	0,001658387	0,000159523	0,000351144	0,00058524	1,4631E-05
Global warming (GWP100)	kg CO ₂ eq	-5,721168944	0	-24,3182841	26,82740315	-10,54543051	0,634262412	0,620632657	1,034387761	0,025859694
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	2,81233E-06	0	1,63945E-07	2,20733E-06	1,35535E-07	2,80013E-08	1,02467E-07	1,70779E-07	4,26947E-09
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	4,170383615	0	1,27865005	1,37465446	1,053437021	0,118631954	0,127388356	0,212313926	0,005307848
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	0,933480659	0	0,254550266	0,285450771	0,2702473	0,043453426	0,029456823	0,049094705	0,001227368
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	1599,21045	0	438,4754083	536,6332046	363,9024408	117,11374	52,83162686	88,05271144	2,201317786
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,047926646	0	0,014320277	0,01566038	0,010603683	0,003419153	0,001448549	0,002414248	6,03562E-05
Photochemical oxidation	kg C ₂ H ₄	0,006035809	0	0,000516921	0,004356148	0,000820912	0,000118573	8,24327E-05	0,000137388	3,4347E-06



Comparing 0,3 m3 'Hemplime wall 300 mm LV with CO2 capture', 0,3 m3 'Hemplime wall 300 mm LV with CO2 capture Metakaolin' and 0,3 m3 'Hemplime wall 300 mm LV without CO2 capture Metakaolin'; Method: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990 / chara

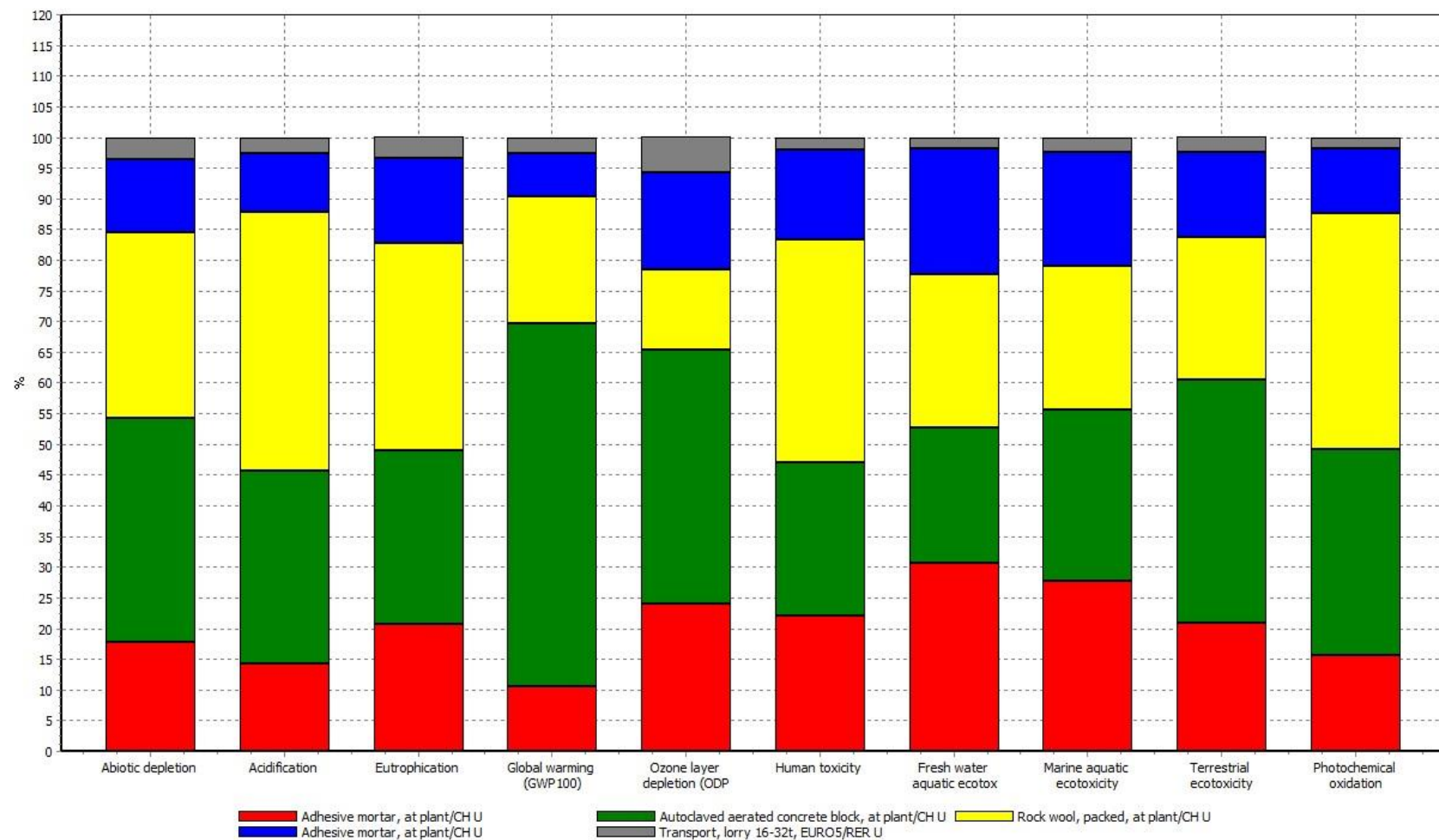
Grafiks 18



Comparing product stages; Method: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990 / characterization

Tabula 14

Label	Unit	500 aerated recycle	aerated concrete 300mm + woll recycle	hemp life LV cycle all recycle	hemp life LV Meta cycle all recycle	wood frame + wool recycled
Abiotic depletion	kg Sb eq	0,374499596	0,443043536	0,172171972	0,12749603	0,156389066
Acidification	kg SO2 eq	0,172968119	0,245287726	0,088729705	0,066159346	0,076383581
Eutrophication	kg PO4--- eq	0,027163425	0,034634057	0,020216038	0,016861407	0,013403486
Global warming (GWP100)	kg CO ₂ eq	80,76812679	80,27507438	-12,90400144	-23,51806578	0,480745034
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	6,41084E-06	6,16362E-06	3,76529E-06	2,81284E-06	2,33014E-06
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	15,17643014	20,40125182	4,973384265	4,171020552	9,656182506
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	4,04551619	4,743583794	1,044928255	0,933627942	1,68038201
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6288,086632	7087,327122	1828,347671	1599,474607	2564,753396
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,179668013	0,194819838	0,066512982	0,047933889	0,08433693
Photochemical oxidation	kg C2H4	0,010897568	0,014615272	0,007690084	0,006036221	0,005863599



Analyzing 1 p '300 aerated + 100 rockwool'; Method: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990 / characterization

