



Latvijas
vides
aizsardzības
fonds

REstore
LIFE projekts



Dabas aizsardzības
parvalde



BALTĪJAS KRĀSTI

Projekta „Degradēto purvu atbildīga apsaimniekošana un ilgtspējīga izmantošana Latvijā”

LITERATŪRAS APSKATS
(ESOŠĀ SITUĀCIJĀ)

2016.GADA MARTS

„Degradēto purvu atbildīga apsaimniekošana un ilgtspējīga izmantošana Latvijā”
LIFE REstore, LIFE14 CCM/LV/001103

Saturs

Saturs	1
Pētījuma aktualitāte	2
Kūdras ieguves un izmantošanas ietekme uz SEG emisijām	4
SEG emisijas no dabiskiem purviem	4
SEG emisijas mežos uz susinātām organiskām augsnēm.....	5
SEG emisijas no susinātām organiskām augsnēm lauksaimniecības zemēs	6
Kūdras ieguves ietekme uz SEG emisijām.....	6
SEG emisijas pēc kūdras atradņu rekultivācijas	7
<i>Renaturalizācija</i>	<i>7</i>
<i>Meža ieaudzēšana</i>	<i>8</i>
Kūdras izmantošanas enerģētikā ietekme uz klimatu	10
Torefikācijas tehnoloģiju pielietošana kūdras pārstrādē.....	13
Secinājumi	15
Literatūra.....	16

Pētījuma aktualitāte

Pēdējos gadu desmitos pasaulē arvien lielāka nozīme tiek pievērsta mitrāju, tostarp purvu aizsardzībai un ilgtspējīgai apsaimniekošanai. Purvi, kūdrāji un citas ar organiskām vielām bagātas augsnes visā pasaulē tiek atzītas par jutīgām ekosistēmām, kas jāpasargā no turpmākas degradācijas. Vairāki starptautiski pētījumi un ziņojumi uzsver purvu, kūdrāju lielo nozīmi ūdens aprītē, attīrīšanā, bioloģiskās daudzveidības saglabāšanā un plūdu regulēšanā, bet līdztekus tam – faktu, ka kūdras augsnes ir milzīgas oglekļa krātuves – tās uzkrāj apmēram 30% no augsnes oglekļa visā pasaulē (Strategy for Responsible ..., 2010; Towards climate responsible ..., 2014; Peatlands – guidance for climate change ..., 2012). Visos šajos dokumentos izvirzīti līdzīgi mērķi atbildīgai un ilgtspējīgai kūdrāju apsaimniekošanai:

1. Saglabāt līdz šim neskartos purvus;
2. Renaturalizēt nosusinātos kūdrājus, paaugstinot ūdens līmeni un atjaunojot purva ekosistēmu;
3. Ieviest klimata atbildīgu kūdrāju apsaimniekošanas politiku;
4. Atrast piemērotāko apsaimniekošanas veidu teritorijām, kur renaturalizācija nav iespējama.

Šādi pamatprincipi, par prioritāti izvirzot neskarto purvu saglabāšanu, noteikti, balstoties uz pēdējos gados veikto pētījumu rezultātiem, kas pierādījuši nosusinātu un kūdras ieguvei sagatavotu teritoriju lielo lomu siltumnīcas efektu izraisošo gāzu (SEG) – oglekļa dioksīda (CO₂), slāpekļa oksīda (N₂O) un metāna (CH₄) izplūdē atmosfērā (Limpens et al., 2008; Lohila, 2008). Daudzus gadsimtus kūdra ir bijusi nozīmīgs energoresurss. No pasaules kūdrājiem 15% ir nosusināti, lai iegūtu kūdru, kā arī apgūtu jaunas teritorijas lauksaimniecībai, mežsaimniecībai un apbūvei. Nosusināšana ne tikai palielina SEG gāzu emisijas, bet arī samazina bioloģisko daudzveidību, palielina ugunsgrēku risku un augsnes eroziju (Towards climate responsible ..., 2014).

Starptautiskie ziņojumi ir rokasgrāmatas politikas veidotājiem, vides speciālistiem, kūdras lauku apsaimniekotājiem un citiem interesentiem. Dokumentos uzsvērts, ka svarīgi ir atbalstīt vietējās pašvaldības un zemes īpašniekus darbības sākuma posmā, piemēram, plānojot kūdras ieguvi, un veicināt to izvēli par labu ilgtspējīgai kūdrāju apsaimniekošanai, pat ja tas nav finansiāli izdevīgākais lēmums. Nozīmīgi ir valstīm savstarpēji dalīties kūdrāju aizsardzības, rekultivācijas un ilgtspējīgas apsaimniekošanas pieredzē un gūtajos rezultātos (Strategy for Responsible ..., 2010; Towards climate responsible ..., 2014; Peatlands – guidance for climate change ..., 2012; Reed et al., 2014).

Jau vairāk kā 20 gadus visā pasaulē tiek attīstītas metodes SEG emisiju mērīšanai un novērtēšanai, lai samazinātu klimata izmaiņas. 1988.g. tika izveidota starptautiska speciālistu grupa klimata izmaiņu pētniecībai un scenāriju izstrādei (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)). To dibinājusi World Meteorological Organization (WMO) and the United Nations Environment Programme (UNEP). Viens no speciālistu grupas uzdevumiem ir sniegt atbalstu UN Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) nacionālo SEG inventarizācijas metodoloģiju izstrādē. 2006.g. publicētās vadlīnijas balstītas uz iepriekš izstrādātajām vadlīnijām un metodēm, ņemot vērā jaunāko pētījumu rezultātus un prognozes. To izstrādē iesaistījās vairāk kā 250 ekspertu no visas pasaules. Vadlīnijas sagatavotas, lai ikvienai valstij, neatkarīgi no pieredzes un pieejamajiem resursiem, būtu iespējams veikt emisiju aprēķinus un izstrādāt scenārijus emisiju novērsšanai. IPCC arī pārvalda Emisiju faktoru datu bāzi (IPCC Emission Factor Database (EFDB)), kas pieejama kopš 2002.g. un uzkrāj informāciju par emisiju faktoriem un ar tiem saistītiem parametriem. 2013.g. izdots šī dokumenta pielikums par SEG emisiju inventarizāciju mitrāju teritorijās (Eggleston, 2006; Hiraushi, 2013).

Pētījumos, kas veikti dažādās pasaules valstīs, atzīts, ka precīzi paredzēt SEG emisiju apjomus no kūdrājiem ir sarežģīti, jo tie ir ļoti atkarīgi no dažādiem bioķīmiskajiem faktoriem. Dažādās klimatiskajās zonās 13 reģionos visā pasaulē veikts pētījums, izmantojot gāzu mērītājus, analizējot pazemes ūdeņu sastāvu un veicot gāzu un kūdras paraugu analīzi laboratorijā. Lai arī kopējie rezultāti pierāda, ka CH₄ emisijas ietekmē augsnes mitrums un tās temperatūra, secinājumos uzsvērts, ka gāzu emisijas vairāk ietekmē vietējie apstākļi un faktori nekā globālie procesi (Pärn, 2015).

Latvijas kaimiņvalstīs, piemēram, Igaunijā un Somijā, ir veikti vairāki pētījumi, kuros analizēti SEG emisiju

apjomi gan nosusinātos kūdrājos, gan vietās, kur veikta kūdras ieguve. Rezultāti parāda, ka lielāko daļu SEG emisiju no visiem kūdrājiem kopumā (neskartiem purviem, nosusinātiem kūdrājiem, kūdras laukiem) sastāda CH₄ (53 – 73%), seko CO₂ (22 – 44%) un N₂O (3 – 5%). Šeit jāņem vērā, ka Igaunijā no kopējās kūdrāju teritorijas neskartas ir 85%, savukārt nosusināti un izmantoti kūdras ieguvei – 15% kūdrāju. CH₄ emisiju apjomi vislielākie ir neskartos purvos, kur ūdens līmenis ir augsts. Savukārt CO₂ emisijas nosusinātās teritorijās un kūdras laukos ir 1,8 – 3,9 reizes lielākas kā nenosusinātās teritorijās. Lai arī rezultāti rāda, ka CH₄ emisijas nosusinātās platībās ir mazākas, tas nekompensē būtisko CO₂ emisiju apjomu (Salm et al., 2009; Salm et al., 2012).

Igaunijā veikto SEG emisiju mērījumu rezultāti uz ha gadā (Salm et al., 2011):

Vieta	CO ₂ kg/ha/gadā	CH ₄ kg/ha/gadā	N ₂ O kg/ha/gadā
<i>Neskarts purvs</i>	1509	85,2	0,05
<i>Nosusināts purvs</i>	1912	23,7	0,01
<i>Pamests kūdras lauks</i>	2845	0,07	0,18
<i>Kūdras lauks, kur notiek ieguve</i>	1741	0,12	0,19

Visās pētījumu vietās pozitīva korelācija konstatēta starp CO₂ emisijām un augsnes temperatūru, savukārt nosusinātos un neskartos purvos, kur ir augsts augsnes mitrums – starp CH₄ emisijām un augsnes temperatūru. N₂O izplūdes visos gadījumos ir ļoti zemas. Kopumā būtiskākie SEG emisiju avoti ir purvi, kur pašlaik notiek kūdras ieguve, kā arī teritorijas, kur saimnieciskā darbība pārtraukta (Salm et al., 2011).

Kā atzīst visu augstāk minēto autori, nepieciešami turpmāki pētījumi, lai izprastu SEG veidošanos dažādos kūdrājos un to, kādi faktori to ietekmē. Lai novērtētu kopējās SEG emisijas, nepieciešams veikt kūdrāju kartēšanu visā pasaulē. Tas ir grūts uzdevums, jo kūdrāju izplatība ir ļoti fragmentāra un to zemes lietojums dažāds (Towards climate-responsible ..., 2014).

Kūdrāju teritoriju ilgtspējīga apsaimniekošana ir būtiska, lai mazinātu ietekmi uz klimata maiņām. Vietās, kur veikta nosusināšana vai kūdras ieguve, pirmkārt, tiek rekomendēta ūdens līmeņa paaugstināšana, lai atjaunotu purva ekosistēmu. Visā pasaulē tiek īstenotas šādas aktivitātes, tostarp LIFE projektu ietvaros Somijā un Latvijā.

Kūdras ieguves un izmantošanas ietekme uz SEG emisijām

SEG emisijas no dabiskiem purviem

SEG emisijas no dabiskiem purviem atkarīga no purvu tipa un klimatiskiem apstākļi, piemēram, sniega kušanas grafiku un ģeogrāfiskās atrašanās vietas.

Dabiskos purvos notiek CO₂ piesaiste kūdrā un CH₄ emisijas; abu procesu īpatsvars – neto SEG emisijas var būtiski atšķirties, atkarībā no dominējošiem meteoroloģiskajiem apstākļiem un kūdras īpašības. Daži pētījumi liecina, ka neto CO₂ piesaiste kūdrā boreālo mežu zonā ir no 220 g CO₂ ekv. m⁻² gadā līdz -310 g CO₂ ekv. m⁻² gadā, t.i. vienos un tajos pašos klimatiskajos apstākļos dažādi purvi var būt gan neto CO₂ piesaistes, gan SEG emisiju avots. (Strack & Waddington, 2008; Holmgren & Hadberg, 2009). Zviedrijas Vides izpētes institūta (IVL) apkopotie dati par CO₂, CH₄ un N₂O emisijām no dabiski mitriem purviem norāda uz neprecizitātēm agrāk valdošajos uzskatos (visos purvos notiek neto CO₂ piesaiste, vidēji 50-80 g CO₂ ekv. m⁻² gadā). Saskaņā ar IVL datiem ombrotrofiskos purvos¹ neto CO₂ emisijas atbilst 150 g CO₂ ekv. m⁻² gadā, savukārt, minerotrofiskie purvi² ir neto CO₂ piesaistes avots (vidēji 230 g CO₂ ekv. m⁻² gadā). Citiem vārdiem ar barības vielām bagātākajos purvos veidojas neto CO₂ piesaiste, bet ar barības vielām nadadzīgākajos purvos – neto CO₂ ekv. emisijas (Hagberg & Holmgren, 2008). Somijas dienvidu daļā veikti pētījumi pierāda, ka CH₄ emisijas parasti ir lielākas minerotrofiskos purvos, nekā ombrotrofiskos purvos. Mērījumi veikti 2 gadu laikā un to rezultātā noskaidrots, ka neto SEG emisijas ombrotrofiskos purvos ir 55 ± 190 g CO₂ ekv. m⁻² gadā, bet minerotrofiskos purvos -55 ± 230 g CO₂ ekv. m⁻² gadā. Tajā pat laikā CH₄ emisijas no ombrotrofiskiem purviem bija 6,7 ± 5,3 g m⁻² gadā un no minerotrofiskiem purviem – 17,3 ± 13,3 g m⁻² gadā (Saarnio *et al.*, 2007). Somijā veikti arī plaši pētījumi par dažādu kūdras izmantošanas scenāriju un gala patēriņa veidu ietekmi uz SEG emisijām, izmantojot t.s. dzīves cikla analīzes metodi, tajā skaitā SEG emisijas, ko rada kūdras ieguve dabiskās mitrzemēs, susinātās meža zemēs un aramzemēs uz kūdras augsnēm, tajā skaitā salīdzinot arī dažādus kūdras atradņu rekultivācijas paņēmienus (hidroloģiskā režīma atjaunošana, apmežošana un lauksaimnieciskā izmantošana. Saskaņā ar šiem pētījumiem CH₂ emisijas no dabiskiem purviem ir 23 g m⁻² gadā (Kirkinen & Minkinen, 2007). Plašs pētījums no 600 Zviedrijas purviem parādīja, ka CH₄ emisijas no Zviedrijas purviem var būt no 2 līdz 40 g CH₄ m⁻² gadā. Emisijas būtiski ietekmē tas, vai purvs ir klāts ar kokaugu veģetāciju. Arī citos zviedru pētījumos parādās informācija par vidēji 21 g CH₄ m⁻² gadā emisijām no dabiskiem purviem (Holmgren & Hadberg, 2009). Vērtējot globālās sasilšanas potenciālu un ikgadējos emisiju no Igaunijas purviem, balstoties uz citās valstīs ar līdzīgiem klimatiskajiem apstākļiem, konstatēts, ka neto emisijas no visiem Igaunijas purviem ir vidēji 82-311 g CO₂ ekv. m⁻² gadā (Salm, 2012). Susinātie purvi Igaunijā rada 123-100 g CO₂ ekv. m⁻² gadā emisiju, bet dabiski mitrie purvi -41-112 g CO₂ ekv. m⁻² emisiju. 2009. gadā Igaunijā veikts pētījums, kurā salīdzinātas CO₂, CH₄ un N₂O emisijas no dabiski mitriem, susinātiem, pamestiem daļēji izstrādātiem un kūdras ieguvei izmantojamiem purviem. CO₂ emisijas no dažādiem purviem bija, attiecīgi, 150,9, 192,1, 284,5 un 174,1 g CO₂ m⁻² gadā. CH₄ emisijas Igaunijā veiktajos pētījumos bija, attiecīgi, 8,52, 2,37, 0,007 un 0,0012 g CH₄ m⁻² gadā. Tas nozīmē, ka kūdras ieguves platībās CH₄ emisijas ir aptuveni 7000 reizes (par 179 g CO₂ ekv. m⁻² gadā) mazākas, nekā dabiskos purvos. N₂O emisijas (0,019 g N₂O m⁻² gadā) Igaunijā konstatētas tikai platībās, kur notiek kūdras izstrāde, attiecīgi, kūdras izstrāde palielina N₂O emisijas par 5,89 g CO₂ ekv. m⁻² gadā (Salm *et al.*, 2012). Atbilstoši šo pētījumu rezultātiem neto SEG emisijas no kūdras izstrādes laukiem samazinās gandrīz divas reizes, salīdzinot ar dabiski mitriem purviem.

SEG emisijas mežos uz susinātām organiskām augsnēm

Tāpat kā dabiski mitros purvos, arī mežaudzēs uz susinātiem purviem SEG emisijas būtiski ietekmē vietējie apstākļi. Atkarībā no kokaugu stāva taksācijas rādītājiem un aerētā augsnes slāņa biezuma meliorācijas pasākumi var radīt gan neto SEG emisijas, gan CO₂ piesaisti. Susinātie meži uz organiskām augsnēm parasti

¹ Purvi, kas saņem visas barības vielas un ūdeni ar nokrišņiem.

² Purvi, kas saņem ar barības vielām bagātinātu ūdeni ar ūdens straumēm.

emitē vairāk CO₂ un mazāk CH₄, salīdzinot ar mežiem uz dabiski mitrām augsnēm. Vidējie CO₂ piesaistes un SEG emisiju rādītāji atkarīgi no klimatiskā reģiona un augsnes auglības.

CO₂ emisiju novērtējums no mežiem uz susinātām organiskām augsnēm būtiski atšķiras dažādos Zviedrijā un Somijā veiktos pētījumos. Galvenie SEG emisijas ietekmējošie faktori ir auglība, ūdens režīms un temperatūra. Atbilstoši (Hagberg & Holmgren, 2008) pētījumiem mazauglīgos kūdreņos Zviedrijā CO₂ emisijas no augsnes ir 458 g CO₂ m⁻² gadā, bet auglīgos kūdreņos – 818 g CO₂ m⁻² gadā. Atbilstoši Zviedrijas dienvidos veiktiem pētījumiem CO₂ emisijas susinātos kūdreņos var būt 257-1111 g CO₂ m⁻² gadā. Neto CO₂ emisijas, ja ņem vērā krājas pieaugumu dzīvajā biomasā, atbilstoši Zviedrijā veiktu pētījumu rezultātiem auglīgos kūdreņos ir -690 ± 90 g m⁻² gadā, bet mazauglīgos kūdreņos -570 ± 70 g m⁻² gadā (Ojanen *et al.*, 2013).

Pētījumi Somijā susinātās organiskās augsnēs liecina, ka vidējās CO₂ emisijas ir 190 ± 70 g m⁻² gadā auglīgos meža tipos un -70 ± 30 g m⁻² gadā nabadzīgos meža tipos. Tas nozīmē, ka auglīgos meža tipos uz organiskām augsnēm susināšana sekmē augsnes oglekļa zudumus (Ojanen *et al.*, 2013). N₂O emisijas no augsnes meža tipos uz organiskām augsnēm atkarīgas no augsnes auglības un valdošās koku sugas. N₂O emisijas no neauglīgām susinātām organiskām augsnēm mežā atbilstoši Zviedrijā veiktiem pētījumiem ir 0,01 g N₂O m⁻² gadā, bet uz auglīgām organiskām augsnēm – 0,5 g N₂O m⁻² gadā (Hagberg & Holmgren, 2008). Kopumā meža meliorācija un mēslojums sekmē N₂O emisijas mežaudzēs uz auglīgām augsnēm, bet uz nabadzīgām augsnēm ietekme ir daudz mazāka. Priežu audzēs uz auglīgām susinātām organiskām augsnēm N₂O emisijas var pieaugt līdz 1 g N₂O m⁻² gadā. Somijā veiktā modelpētījumā, salīdzinot dažādas aprēķinu metodes N₂O emisiju novērtēšanā, konstatēts, ka vidējās emisijas Somijā ir 0,17-0,31 g N₂O m⁻² gadā (Klemedtsson *et al.*, 2005). Puse no N₂O emisijām no susinātām kūdras augsnēm meža zemēs Somijā veidojas auglīgajos meža tipos (Vymazal, 2008).

N₂O emisiju mērījumi ziemā liecina, ka, pazeminoties temperatūrai, N₂O emisijas būtiski palielinās; līdz 3 g N₂O un vidējās N₂O emisijas gada griezumā atkarīgas no tā, vai tiek ņemtas vērā ziemas emisijas.

Somu pētījumos konstatēts, ka kopējās N₂O un CH₄ emisijas mežaudzēs uz auglīgām susinātām organiskām augsnēm ir 40 ± 10 g CO₂ ekv. m⁻² gadā, bet uz nabadzīgām augsnēm – 20 ± 5 CO₂ ekv. m⁻² gadā (Ojanen *et al.*, 2013). Citos somu pētījumos konstatēta negatīva eksponenciāla sakarība starp koksnes krāju un CH₄ emisijām uz susinātām kūdras augsnēm (Kari Minkkinen, 2007). Audzes ar mazu krāju emitēja līdz 4 g CH₄ m⁻² gadā, bet audzēs ar lielu krāju CH₄ emisijas samazinājās, salīdzinot ar kontroli par līdz pat 1 g CH₄ m⁻² gadā. Pagrieziena punkts, kad sāk veidoties negatīvas CH₄ emisijas, ir 140 m³ ha⁻¹ krāja. Līdzīga sakarība konstatēta arī mežaudzēs uz dabiski mitrām augsnēm, taču tā nav tik izteikta. Vidējās ikgadējās CH₄ emisijas no susinātām organiskā meža augsnēm ir negatīvas, t.i. var uzskatīt, ka susinātas organiskas meža augsnes ir CH₄ piesaistes avots neatkarīgi no kopējās krājas, ja vien susināšana ir bijusi pietiekoši efektīva (Kirkinen & Minkinen, 2007). Dažus gadus vēlāk veiktos pētījumos konstatētas neto CH₄ emisijas no ombrotrofiem un minerotrofiem purviem, attiecīgi, 1,24 ± 1,64 g CH₄ m⁻² gadā un 0,59 ± 1,36 g m⁻² gadā (Maljanen *et al.*, 2010). Tajā pašā pētījumā maksimālais konstatētais CH₄ emisiju samazinājums, salīdzinot ar kontroli, bija 0,82 g CH₄ m⁻² gadā. Neskatoties uz to lielākā daļa susināto organisko augšņu turpina radīt CH₄ emisijas. CH₄ veidojas galvenokārt meliorācijas grāvjos. Somijā CH₄, kas veidojas organisko augšņu meliorācijas sistēmās, ir 4,5 % no kopējām emisijām no susinātām organiskām meža augsnēm (Maljanen *et al.*, 2010). Emisijas no grāvjiem ir atkarīga no to tehniskā stāvokļa. Ja grāvjos veidojas intensīva veģetācija, tie kļūst par CH₄ emisiju avotu, bet, ja grāvjos nekas neaug, CH₄ emisijas neveidojas. Zviedrijā veiktos pētījumos secināts, ka CH₄ emisijas no mazauglīgām susinātām organiskām augsnēm ir nenozīmīgas, bet no auglīgām augsnēm – vidēji 2 g CH₄ m⁻² gadā (Hagberg & Holmgren, 2008). Ilglaičīgos novērojumos konstatēts, ka vidēji 35 gadu laikā CH₄ emisijas no susinātām kūdras augsnēm ir no 0,82 līdz 3,5 g CH₂ m⁻² gadā (Alm *et al.*, 2007).

SEG emisijas no susinātām organiskām augsnēm lauksaimniecības zemēs

Kūdras augšņu izmantošana lauksaimniecībā samazina CH₂ emisijas, tajā pat laikā būtiski palielinot CO₂ un N₂O emisijas. Emisiju pieaugumu veicina augsnes apstrāde un meliorācija. Lielāko emisiju pieaugumu rada

kūdras augšņu transformācija aramzemēs – vidēji 48-4881 g CO₂ ekv. m⁻² gadā (Alm *et al.*, 2007). Citās publikācijās atrodamas arī būtiski lielākas emisijas. Emisiju pieaugums kultivētās aramzemēs uz kūdras augsnēm atkarīgs no audzējamajām kultūrām un augsnes apstrādes intensitātes. Arī mēslojums rada emisiju pieaugumu.

Somijā veiktos pētījumos, salīdzinot SEG emisijas no kultivētām un pamestām lauksaimniecības zemēm uz kūdras augsnēm konstatēts, ka pēc organisko augšņu atstāšanas atmatā CO₂ un N₂O emisijas no kūdras augsnēm nesamazinās, bet CH₄ emisijas var būtiski pieaugt pēc saimnieciskās darbības pārtraukšanas (Maljanen & Hytonen, 2007). Šajā pašā pētījumā konstatēts, ka lauksaimniecības zemes uz kūdras augsnēm var būt vai nu CH₄ emisiju vai piesaistes avots, atkarībā no gruntsūdens līmeņa un klimatiskajiem apstākļiem. Somijā konstatēts arī, ka CO₄ emisijas no pamestām kūdras augsnēm saglabājas augstā līmenī arī 20-30 gadus pēc saimnieciskās darbības pārtraukšanas, neatkarīgi no audzētajām lauksaimniecības kultūrām. Salīdzinot dažādas lauksaimniecības kultūras, konstatēts, ka ilggadīgie sētie zālāji rada vidēji 79-750 g CO₂ m⁻² gadā emisijas, mieži – 210-830 g CO₂ m⁻² gadā emisijas, bet vislielākās CO₂ emisijas rada zemes atstāšana atmatā - 690-1100 g CO₂ m⁻² gadā). Šie dati ļāva secināt, ka saimnieciskās darbības turpināšana, ierīkojot ilggadīgos zālājus vai enerģētiskās koksnes plantācijas, ir efektīvākais kultivēto organisko augšņu izmantošanas paņēmieni (Maljanen & Hytonen, 2007).

Zviedrijā veiktos pētījumos konstatēts, ka CO₂ emisijas no kultivētām organiskām lauksaimniecības augsnēm ir 1780 g CO₂ m⁻² un 1,5 g N₂O m⁻² gadā. CH₄ emisijas no kultivētajām organiskajām lauksaimniecības zemēm Zviedrijā nav konstatētas (Kasimir-Klemedtsson *et al.*, 1997). N₂O emisijas no kultivētām organiskām augsnēm Zviedrijā ir vidēji 2 reizes lielākas, nekā no meža zemēm (Maljanen *et al.*, 2003).

Salīdzinot aramzemes un ilggadīgos zālājus uz organiskām augsnēm, Zviedrijā konstatēts, ka CO₂ emisijas ir būtiski lielākas kultivētās aramzemēs – 4650 g m⁻² gadā, salīdzinot ar vidēji 1900 g m⁻² gadā (Holmgren & Alm, 2011). Teritoriāli plašākā pētījumā par Eiropas valstīm zālajos uz barības vielām nabadzīgām ombrotrofiskām kultivētām kūdras augsnēm konstatētās CO₂ emisijas ir 860-1610 g m⁻² un zālajos uz barības vielām bagātākās minerotrofām kūdras augsnēm – 1500-1510 g m⁻² gadā (Nilsson & Nilsson, 2004; Holmgren & Alm, 2011). Boreālajā klimatiskajā joslā CH₄ emisijas kultivētās zemēs parasti ir negatīvas, jo augsnes ir labi drenētas. Ziemas periodā būtiski palielinās N₂O emisijas.

Kūdras ieguves ietekme uz SEG emisijām

Uzsākot kūdras izstrādi, virsējo augsnes slāni noņem, atstājot kūdras atsegtu līdz pat atradnes rekultivācijai. Meliorācijas sistēmas ierīkošana veicina gruntsūdens līmeņa pazemināšanos un kūdras aerācijas uzlabošanu. Arī kūdras ieguves tehnoloģija ietekmē SEG emisiju veidošanos kūdras atradnēs. Visvairāk iegūst frēzkūdras, ko žāvē kaudzēs lauka malā.

Emisijas kūdras ieguves laikā veidojas no susinātās platības, nosusināšanas ietekmētās apkārtējās platības, grāvjiem un žūstošās kūdras kaudzēm. Atbilstoši Zviedrijā veiktiem pētījumiem kūdras ieguves laikā CO₂ emisijas ir 230-1020 g m⁻² gadā, vidēji 600 g CO₂ m⁻² gadā (Sundh *et al.*, 2000; Hagberg & Holmgren, 2008). Tomēr jaunākie pētījumi liecina, ka vidējās CO₂ emisijas atradnes izmantošanas laikā ir 1000 g m⁻² gadā, ja ņem vērā emisijas, ko rada kūdras kaudzes (Holmgren & Hadberg, 2009). Būtiski mazākas CO₂ emisijas ir ziemas periodā. Atradnēs ar sākotnēji lielu CO₂ emisiju līmeni, tas saglabājas augsts visu atradnes izmantošanas laiku. Kūdras ieguves ietekme uz SEG emisijām apkārtējās teritorijās nav viennozīmīga, jo nosusināšana palielina piesaisti kokaugu biomasā un citās meža oglekļa krātuvēs (Zetterberg & Chen, 2011). Nemeža zemēs SEG emisijas susināšanas rezultātā var pieaugt.

Frēzkūdras ieguve var radīt lielākas CO₂ emisijas (1948-2478 g m⁻² gadā), it īpaši, ja ieguve notiek karstā un mitrā laikā. Vidēji frēzkūdras laukos CO₂ emisijas ir 695-4101 g m⁻² gadā, CH₄ emisijas – 7,23 g m⁻² un N₂O emisijas – 0,31 g m⁻² gadā. Lielākā daļa emisiju veidojas vasarā. CH₄ un N₂O emisijas veidojas galvenokārt meliorācijas grāvjos (Alm *et al.*, 2007). Arī Zviedrijā veiktos pētījumos iegūti līdzīgi dati par CH₄ emisijām – 0,3-7,2 g m⁻² gadā, vidēji 3,7 g m⁻² (Holmgren & Hadberg, 2009).

Meliorācija uzlabo koku augšanu teritorijā ap kūdras atradni, taču var palielināt arī CH₄ emisijas, pateicoties kopumā sliktākai meliorācijas sistēmai. Saskaņā ar Zviedrijā veikto pētījumu rezultātiem, vidējās CH₄ emisijas apkārtējās teritorijās ir 5,25 g m⁻² gadā (Sundh *et al.*, 2000).

Vērtējot SEG emisijas laika griezumā, konstatēts, ka CO₂ emisijas ir būtiski lielākas pirmajos 5-10 gados (1000 g m⁻² gadā) un pēc tam lineāri samazinās turpmākajos 11-25 gados, sasniedzot 300 g m⁻² (Zetterberg & Chen, 2011). Emisijas no kūdras kaudzēm ir vidēji 175 g m⁻² gadā.

N₂O emisijas no izstrādes lauka un apkārtējās teritorijas ir 0,2-1 g m⁻² (Zetterberg *et al.*, 2004). Konstatēts, ka tikko atvērtās atradnēs N₂O emisijas ir lielākas, bet tās pieaug arī izstrādes perioda beigās (Nilsson & Nilsson, 2004; Holmgren & Alm, 2011).

Pēc kūdras izstrādes pabeigšanas paliek lielāks vai mazāks nesavāktas kūdras slānis, kas rada emisijas turpmākajos gados. Jo lielāks atstātās kūdras slānis, jo lielākas emisijas tas rada. Apmežotos kūdras laukos CO₂ emisijas samazinās līdz vidēji 1100 g m⁻² gadā pirmajā rotācijā (Hagberg & Holmgren, 2008). Pastāv viedoklis, ka CO₂ emisijas saglabājas, kamēr visa atstātā kūdra ir sadalījusies (Nilsson & Nilsson, 2004). Neskatoties uz to, ka apmežošana nodrošina CO₂ piesaisti dzīvajā biomasā, zemsegā un citās oglekļa krātuvēs, atlikušās kūdras slānis var radīt salīdzinoši lielas emisijas. Zviedrijā un Somijā veiktos pētījumos konstatēts, ka apmežošanas gadījumā kūdras sadalīšanās pēc atradnes slēgšanas neietekmē būtiski kopējo kūdras ieguves SEG emisiju bilanci (Holmgren *et al.*, 2006). Saskaņā ar Somijā un Zviedrijā veiktajiem pētījumiem, atstātā kūdra apmežošanas gadījumā var būt neliels neto emisiju avots. No otras puses kūdras slānis sekmē koku augšanu, tāpēc to nevajadzētu novākt pilnībā (Väisänen *et al.*, 2013).

Saskaņā ar Somijā veikto pētījumu rezultātiem CO₂ emisijas kūdras sadalīšanās rezultātā samazinās eksponenciāli no 1150 g m⁻² 300 gadu laikā, kamēr kūdras slāņa biezums sasniedz 1,6 cm (no sākotnējiem 20 cm). Paralēli samazinās arī N₂O emisijas.

Būtisks faktors, kas ietekmē SEG emisijas no kūdras atradnēm, ir kūdras ieguves ilgums – jo ātrāk kūdras atradne tiek apgūta, jo mazāk SEG emisiju rodas. Noskaidrots, ka izstrādes laika samazināšana par 10 % ļauj samazināt SEG emisijas par 90 % (Väisänen *et al.*, 2013). Tas nozīmē, ka emisiju samazināšanai vispirms jāmeklē risinājumi tieši kūdras ieguves tehnoloģijā, lai samazinātu vienlaicīgi izstrādājamo platību un paātrinātu atradņu izmantošanu.

SEG emisijas pēc kūdras atradņu rekultivācijas

Kūdras atradņu rekultivācijas jautājums aktualizējies pēdējā desmitgadē sakarā ar nepieciešamību samazināt SEG emisijas. Daļa no šīm metodēm jau diskutētas iepriekšējās nodaļās (, un). Šajā nodaļā detalizētāk raksturotas 2 izplatītākās metodes – kūdras atradņu apmežošana un teritorijas pārpurvošana.

Renaturalizācija

Kūdras atradņu renaturalizācija, paaugstinot gruntsūdens līmeni, ir lētākais rekultivācijas risinājums. Pamatideja ir atgriezt sākotnējo mitruma režīmu, pieņemot, ka turpmākie purva veidošanās procesi sāksies paši no sevis. Pārpurvošana var palēnināt organisko vielu mineralizāciju un samazina CO₂ emisijas, bet sekmē anaerobu apstākļu veidošanos un CH₄ emisijas. Vairumā gadījumu ilgtermiņā pārpurvotās teritorijas kļūst par oglekļa piesaistes avotu, lai gan ir salīdzinoši maz pētījumu, kas varētu apstiprināt šo pieņēmumu vai sniedz tam skaitlisku raksturojumu.

Oglekļa piesaiste kūdrā pēc pārpurvošanas atbilst 80-362 g CO₂ m⁻² gadā (Hagberg & Holmgren, 2008); citos pētījumos konstatēts, ka CO₂ piesaiste ir vidēji 122 g m⁻² gadā (Kirkinen, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 2010). To, vai pārpurvotā teritorija kļūst par CO₂ piesaistes vai emisiju avotu, nosaka laiks kopš rekultivācijas uzsākšanas un veģetācijas pārklājums (Maljanen *et al.*, 2010). Somijā veiktos pētījumos konstatēts, ka 1975. gadā pamestās kūdras atradnes kļuva par CO₂ piesaistes avotu 2 gadus pēc rekultivācijas. Šis pats pētījums pierādīja, ka CO₂ piesaiste notiek tikai tad, ja gruntsūdens līmenis ir pietiekoši augsts un ir labvēlīgi klimatiskie apstākļi (Tuittila *et al.*, 1999). Ziemas laikā CO₂ emisijas nereti pārsniedz veģetācijas sezonā

radušos piesaisti. Pirms 15 gadiem Somijā veiktos pētījumos konstatēts, ka, neatkarīgi no kūdras tipa pārpurvotās kūdras atradnes ir CO₂ emisiju avots; 594-1038 g m⁻² gadā minerotrofos purvos un 198-370 g m⁻² gadā ombrotrofos purvos (Tuittila *et al.*, 1999).

Pārpurvotās kūdras atradnes rada CH₄ emisijas 3,35 ± 1,77 g m⁻² gadā un CH₄ emisiju intensitāte atkarīga no laika, kas pagājis kopš rekultivācijas. N₂O emisijas rekultivētās atradnēs ir maz pētītas; pieejamie dati liecina, ka vidēji apmežotās kūdras atradnēs N₂O emisijas ir 0,55 g m⁻² un, izmantojot mēslojumu, 2,0 g m⁻² gadā (Maljanen *et al.*, 2010). CH₄ emisijas strauji pieaug pēc pārpurvošanas, taču saglabājas zemākā līmenī, nekā no dabiskiem purviem (Tuittila *et al.*, 1999). Citos pētījumos konstatēts, ka pēc pārpurvošanas CH₄ emisijas atgriežas sākotnējā līmenī – aptuveni 17 g CH₄ m⁻² gadā (Alm *et al.*, 2007; Hagberg & Holmgren, 2008). Veģetācija sekmē CH₄ emisiju pieaugumu. Kanādas austrumos veiktos pētījumos konstatēts, ka pārpurvotās kūdras atradnēs ar spēcīgu veģetāciju CH₄ emisijas ir būtiski lielākas nekā dabiskos purvos (Basiliko *et al.*, 2007).

Paludikultūru – parastās niedres, miežubrāļa, baltalkšņa, melnalkšņa un sfagnu kultivēšana mitrājos – ir viena no piedāvātajām apsaimniekošanas iespējām vietās, kur renaturalizācija nav iespējama. Viens no piemēriem ir Igaunijā veiktais pētījums par parastā miežubrāļa (*Phalaris arundinacea*) audzēšanu izstrādātā kūdras laukā. Konstatēts, ka miežubrāļa audzēšana kūdras laukus veiksmīgi pārvērš no SEG gāzu emitētājiem par C piesaistītājiem (Mander, 2012).

Meža ieaudzēšana

Apmežojot izstrādātas kūdras atradnes, augošais mežs nodrošinās CO₂ piesisti no atmosfēras, vienlaicīgi saglabājoties CO₂ emisijām, ko rada atlikušā kūdras slāņa mineralizācija. Respektīvi, neto CO₂ emisijas apmežotā kūdras atradnē atkarīgas no mežaudzes produktivitātes, atstātā kūdras slāņa biezuma un aprēķinu perioda ilguma. Ja aprītē ietver vairākas kokaudžu rotācijas, papildus CO₂ piesaisti veido koksnes produkti un aizstātais fosilais kurināmais. Tomēr visbiežāk aprēķinos izmanto 1 rotāciju (vidēji 85 gadi), jo tieši pirmā koku paaudze rada vislielāko ietekmi uz CO₂ emisijām rekultivētajā platībā. CO₂ emisiju un piesaiste bilance atkarīga arī no laika apstākļiem un meža ieaudzēšanas paņēmiena. Ja mežs rekultivētajā platībā ienāk dabiskās apmežošanas rezultātā, tad neto CO₂ emisijas var būt mazākas, nekā tad, ja pirms meža ieaudzēšanas veic augsnes sagatavošanu, sajaucot minerālaugzni un kūdras slāni (Alm *et al.*, 2007). Tajā pat laikā mērķtiecīga meža ieaudzēšana, veicot augsnes sagatavošanu, nodrošina būtiski lielāku krājas pieaugumu, attiecīgi, CO₂ piesaisti dzīvajā biomasā.

Atbilstoši Somijā un Zviedrijā veiktiem pētījumiem CO₂ emisijas no apmežotām kūdras atradnēm ir vidēji 1397 g m⁻² gadā (1008-1756 g m⁻² gadā), CH₄ emisijas – -0,05 g m⁻² gadā (-0,03-0,09 g m⁻² gadā) un N₂O emisijas – 0,15 g m⁻² gadā (0,02-0,75 g m⁻² gadā). Emisijas no rekultivētām kūdras atradnēm, kas transformētas aramzemēs ir līdzīgas emisijām no meža zemēm, izņemot N₂O emisijas, kas aramzemēs ir būtiski lielākas (Mhkiranta *et al.*; Alm *et al.*, 2007).

Somijā veiktos pētījumos konstatēts, ka N₂O un CH₄ emisijas nemainās būtiski pēc apmežošanas un augsne turpina emitēt CH₄, lai gan emisiju apjoms ir niecīgs. Ja apmežo kūdras atradnes, ko pirms tam izmantoja kā aramzemes, meža ieaudzēšana ilgtermiņā var būtiski samazināt neto emisijas no rekultivētajām atradnēm, salīdzinot ar citiem apsaimniekošanas scenārijiem (Mäkiranta *et al.*, 2007).

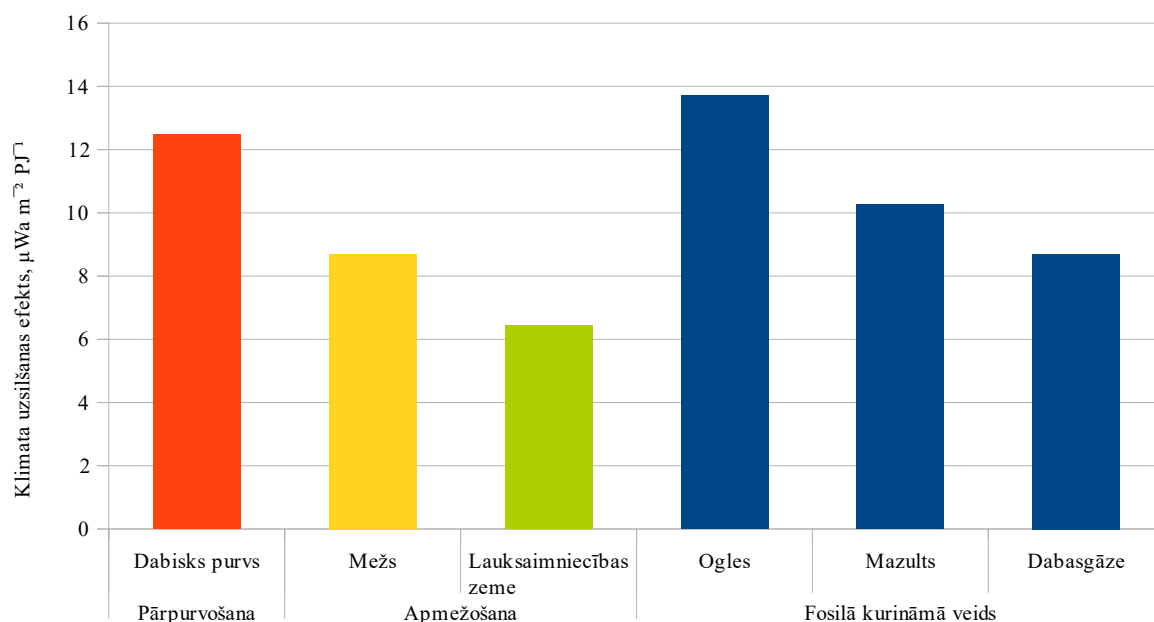
Neskartos purvos N₂O emisijas parasti ir nelielas un gruntsūdens līmeņa pazemināšana palielina N₂O emisijas. N₂O emisijas no izstrādātām kūdras atradnēm parasti būtiski neatšķiras no N₂O emisijām no mežiem uz organiskām susinātām augsnēm un kultivētām organiskām augsnēm. Skāba augsne, liela nitrātu koncentrācija un zems gruntsūdens līmenis ir galvenie priekšnosacījumi palielinātām N₂O emisijām. Tas liecina, ka meža ieaudzēšana un mežaudzes vecums neietekmē N₂O emisijas, ja vien pārējie faktori nemainās. Vidējās N₂O emisijas Somijas skujkoku mežos uz kūdras augsnēm ir 0,86 ± 0,73 g m⁻², bet lapkoku mežos – 1,00 ± 1,12 g m⁻² gadā. Pat vairākus gadu desmitus pēc apmežošanas N₂O emisijas no organiskām augsnēm var saglabāties tikpat augstā līmenī, kā tajā laikā, kad tās izmantoja lauksaimniecībā (Maljanen *et al.*, 2012). Pretēji rezultāti iegūti pētījumos Zviedrijā, kur konstatēts, ka N₂O emisijas 45 gadu laikā pēc

apmežošanas samazinās no $0,15 \text{ g m}^{-2}$ līdz $0,06 \text{ g m}^{-2}$ (Hagberg & Holmgren, 2008). Arī citos pētījumos konstatēts, ka ilgākā laikā pēc apmežošanas N_2O emisijas samazinās (Alm *et al.*, 2007; Saarnio *et al.*, 2007).

Mežaudzes produktivitāte ir svarīgākais faktors, kas nosaka, cik lielā mērā kūdras ieguves laikā radušās SEG emisijas varēs kompensēt ar CO_2 piesaisti dzīvajā biomasā. Savukārt, mežaudžu produktivitāti nosaka, cik biezs kūdras slānis atstāts uz lauka, cik efektīva ir meliorācijas sistēma, cik daudz barības vielu pieejams augiem un pielietotajiem mežsaimniecības paņēmieniem. Zviedru kūdras izmantošanas dzīves cikla analīzes pētījumos pieņemta, ka vidējās ikgadējās krājas izmaiņas ir $7,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ gadā, kas kopumā 85 gadu laikā rada vidēji $820 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ gadā piesaisti. Dažādos pētījumos ir pretrunīgi vērtējumi par apmežošanas ietekmi uz neto CO_2 emisijām izstrādātajās kūdras atradnēs. Ir pētījumi, kas apliecina, ka pēc 30 gadu vecuma sasniegšanas CO_2 piesaiste biomasā kompensē augsnes emisijas (Lohila *et al.*, 2007), bet citos pētījumos pierādīts, ka, neskatoties uz būtisko neto CO_2 emisiju samazinājumu, apmežotās organiskās augsnes turpina būt par neto CO_2 emisiju avotu (Lohila, 2008).

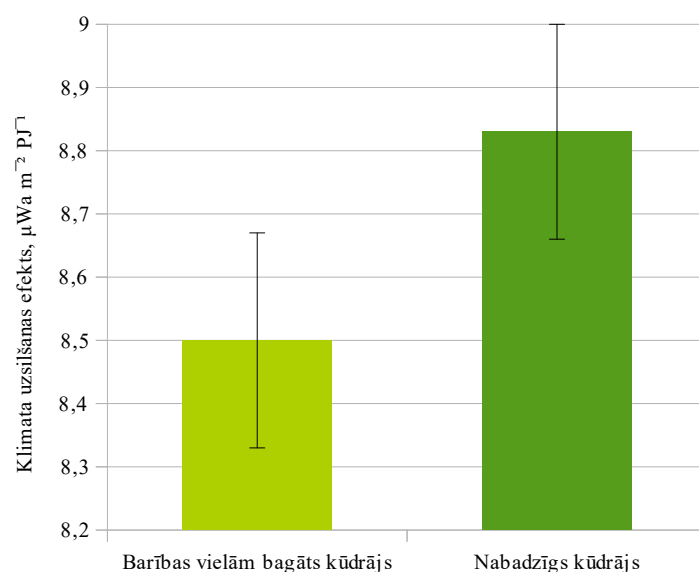
Kūdras izmantošanas enerģētikā ietekme uz klimatu

Datu apkopojums par kūdras izmantošanas ietekmi uz SEG emisijām balstīts uz Zviedrijas vides izpētes institūta IVL veikto aprēķinu rezultātiem (Höglund & Martinsson, 2013). Kūdras izmantošanas scenāriji salīdzināti ar dabasgāzes un akmeņogļu izmantošanas scenārijiem 100 gadu laika posmā. Ietekme uz klimatu rēķināta nevis SEG emisiju, bet gan klimata uzsilšanas izteiksmē. Att. 1 dots ietekmes uz klimata izmaiņām aprēķinu kopsavilkums 100 gadu periodam. Zviedru zinātnieku iegūtie rezultāti liecina, ka jebkurš no kūdras izmantošanas enerģētikā scenārijiem 100 gadu laikā rada mazāku ietekmi uz klimata izmaiņām, nekā akmeņogļu izmantošana, tomēr, ņemot vērā emisiju faktoru nenoteiktību, dabisku purvu izmantošana kūdras ieguvei ar sekojošu pārpurvošanu nerada SEG emisiju samazinājumu. Kūdras ieguve susinātās mežaudzēs ar sekojošu kūdras atradņu apmežošanu nerada būtiski lielāku vai mazāku ietekmi uz klimata izmaiņām, salīdzinot ar mazutu vai dabasgāzi, bet rada būtiski mazāku ietekmi, nekā akmeņogles. Tikai kūdras ieguve kultivētās augsnēs, paredzot izstrādāto atradņu apmežošanu, rada būtiski mazāku ietekmi uz klimata izmaiņām, nekā jebkurš no fosilā kurināmā veidiem.



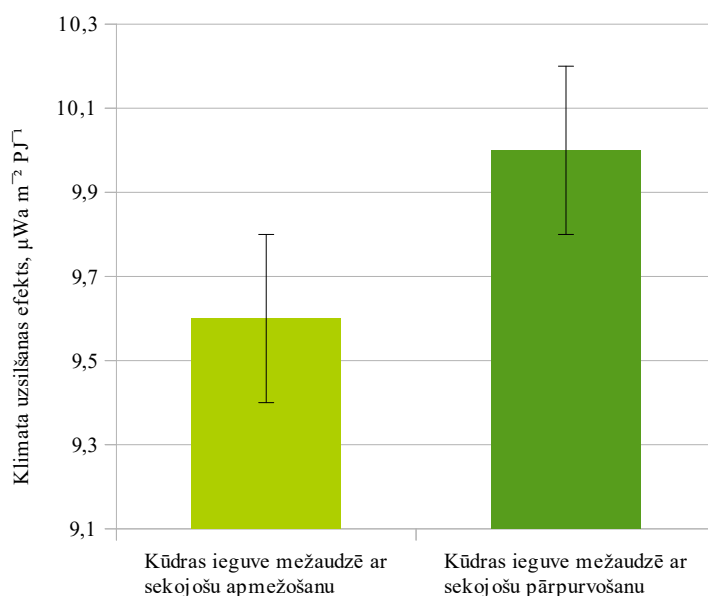
Att. 1: Kūdras izmantošanas ietekmes uz klimata izmaiņām kopsavilkums (Höglund & Martinsson, 2013).

Barības vielām nabadzīgu kūdras augšņu izmantošanas kūdras ieguvei, paredzot sekojošu apmežošanu, rada būtiski mazāku ietekmi uz klimata izmaiņām, nekā barības vielām bagātu kūdrāju apmežošana (Att. 2).



Att. 2: Barības vielām bagātu un nabadzīgu kūdras augšņu apmežošanas ietekme uz klimata izmaiņām (Höglund & Martinsson, 2013).

Salīdzinot apsaimniekošanas scenārijus bijušajās meža zemēs, kurās veikta kūdras izstrāde, konstatēts, ka viennozīmīgi izdevīgākais risinājums ir šo zemju apmežošana pēc kūdras ieguves pārtraukšanas (Att. 3).



Att. 3: Kūdreņu apmežošanas un pārpurvošanas ietekme uz klimata izmaiņām (Höglund & Martinsson, 2013).

Zviedrijā un citur veiktos pētījumos konstatēts, ka ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanai pēc iespējas aktīvāk jāveic kūdras ieguve teritorijās, kas raksturojas ar lielām SEG emisijām (lauksaimniecības un meža zemes), paredzot šo teritoriju apmežošanu pēc kūdras izstrādes (Väisänen *et al.*, 2013). Sākotnējās SEG emisijas ir faktors, kas nosaka kūdras izmantošanas enerģētikā ietekmi uz klimata izmaiņām, daļēji aizstājot

akmeņogles (20 %) gazifikācijas stacijās. Fosilā kurināmā aizstāšanas efekts ļauj samazināt SEG emisijas 50, 100 gadu un ilgākā laika periodā, bet īstermiņā (15 gadi) kūdras izmantošana nemazina SEG emisijas. Pētījumos konstatēts, ka galvenokārt 3 faktori ietekmē kūdras ieguves summāro ietekmi uz klimata izmaiņām:

- kūdrāju ar sākotnēji lielām SEG emisijām izmantošanas īpatsvars;
- saimnieciskās darbības ilgums kūdras atradnē (produktivitāte);
- atstājamā kūdras slāņa biezums (Väisänen *et al.*, 2013).

Jo vairāk izmanto kūdrājus, kas rada lielas emisijas, jo īsākā laikā pabeidz kūdras ieguvu un jo plānāku kūdras slāni atstāj, jo lielāks ir negatīvās ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanas efekts. Ņemot vērā Ziemeļvalstu pētījumu rezultātus par to, ka pamestās kūdras atradnēs SEG emisijas var saglabāties tādā pašā līmenī, kā izstrādes laikā, Latvijā pirmām kārtām kūdras izstrāde veicama drenētajās kūdras atradnēs, kurās kūdras izstrāde jau uzsākta. Jaunu atradņu ierīkošana pieļaujama meža zemēs, paredzot teritorijas apmežošanu pēc ieguve pabeigšanas, kā arī purvos, kuros pazeminājies gruntsūdens līmenis un kas kļuvuši par neto SEG emisiju avotu. Šādas teritorijas ir, piemēram, nelieli purvi, ko ielenc drenētas lauksaimniecības zemes. Plānojot kūdras ieguvu, būtiski atcerēties, ka nozīmīgs SEG emisiju avots ir apkārtējās zemes, ko ietekmē kūdras ieguvei ierīkotā meliorācijas sistēma. Jānodrošina, lai arī apkārtējās zemēs notiktu saimnieciskā darbība, kas sekmē CO₂ piesaisti, piemēram, meža meliorācija un kopšana, kā arī meža ieaudzēšana pamestajās lauksaimniecības zemēs, kas robežojas ar kūdras ieguves platībām. Šo teritoriju pārpurvošana vai neapsaimniekošana sekmē SEG emisiju pieaugumu, jo netiek izmantots papildus krājas pieauguma potenciāls, tajā pat laikā SEG emisijas no augsnes palielinās, pateicoties kūdras ieguves platības meliorācijas sistēmu ietekmei. Saskaņā ar dažādu pētījumu datiem kūdras ieguves ietekmētā platība vidēji atbilst 50 % no kūdras atradnes platības un vidējās un CO₂ emisijas no augsnes šajā platībā atbilst vidēji 3,7 tonnas ha⁻¹ gadā (Nilsson & Nilsson, 2004; Hagberg & Holmgren, 2008).

Torefikācijas tehnoloģiju pielietošana kūdras pārstrādē

Toreficētā biomasas jeb bio-ogles ir atjaunojams enerģijas avots (lēni atjaunojams, ja izejviela ir kūdra), kura siltumspēja ir lielāka nekā koksnei un gandrīz tikpat liela kā akmeņoglēm. Bio-ogles ražo no dažāda veida biomasas tā sauktajā torefikācijas jeb zemspiediena pirolīzes procesā.

Torefikācija ir biomasas apdedzināšana, lai samazinātu mitruma saturu un atbrīvotos no gaistošiem savienojumiem, iegūstot produktu ar lielāku enerģētisko vērtību nekā izejvielās, ko ir viegli uzglabāt, transportēt un sadedzināt ar akmeņoglēm, nepārveidojot esošās kurtuves.

Bio-ogļu ražošanas tehnoloģiskā shēma:

- sasmalcinātu dabiski mitru biomasu ieber toreficēšanas reaktorā;
- pievadot siltumu, atbrīvojas no mitruma (siltuma saražošanai var izmantot toreficēšanas procesā radušos gāzi un mazvērtīgu biomasu);
- biomasu pārvieto uz toreficēšanas reaktora telpu, kur to pārogle līdz 300 °C temperatūrā bezskābekļa vidē, pasargājot materiālu no uzliesmošanas;
- toreficēšanas reaktorā gaistošie organiskie savienojumi un hemiceluloze sadalās, veidojot toreficētajai biomasai raksturīgi struktūru;
- viegli gaistošos organiskos savienojumus un citas gāzes (galvenokārt, tvana gāzi) atgriež atpakaļ ražošanas ciklā, kur tās nodrošina visu toreficēšanas procesam nepieciešamo enerģiju un aptuveni pusi no enerģijas, kas nepieciešama biomasas žāvēšanai;
- izejvielas esošo ūdeni aizvada tvaiku veidā;
- pēc pāroglešanas biomasu novada toreficēšanas reaktora dzesēšanas telpā;
- pēc atdzesēšanas pārogleto biomasu sasmalcina, pievada ūdeni un izlaiž caur granulā presi, iegūstot viendabīgas, mehāniski izturīgas toreficētās biomasas granulas (granulēšanas procesu nodrošina lignīna molekulas, kas pāroglešanas procesā netiek sagrautas).

Toreficētās koksnes, vēl jo vairāk kūdras, granulēšanas process ir maz pētīts un līdz šim ražošanā nav ieviests. Tehnoloģiski problemātiskākais process ir granulēšanas spiediena režīms, izmantojot dažādas izejvielas, kas apstrādātas atšķirīgā temperatūrā. Tāpēc patreiz strādājošajās iekārtās granulēšanas vietā parasti izmanto briketēšanu, kurai nepieciešams mazāks spiediens un ir mazāks uzliesmošanas risks. Praksē, ražošanas apstākļos toreficētās kūdras briketes vai granulas pagaidām netiek izmantotas.

Projekta BalBic ietvaros izstrādāts materiālu un enerģijas plūsmas modelis toreficētās biomasas ražošanas procesa raksturošanai. Izmantojot šo modeli kūdras biokurināmā ražošanai, konstatēts, ka rūpnīcai ar 100 tūkst. tonnas granulā ražošanas jaudu nepieciešamas 303 tūkst. tonnas³ izejvielu (ieteicams izmantot sfagnu kūdras) un 61 tūkst. tonnas sliktākas kvalitātes biokurināmā (mežizstrādes atliekas vai zāļu kūdra). Elektroenerģijas patēriņš ir 12,5 GWh gadā. Salīdzinot ar parasto biomasas granulā ražošanu, optimizētā toreficētās biomasas ražošanas procesā kopējais energoresursu patēriņš nepalielinās vai pat samazinās atbilstoši atsevišķiem internetā pieejamiem informācijas avotiem. Energoresursu patēriņa samazinājumu nodrošina efektīvāka pirolīzes procesā atbrīvotās enerģijas izmantošana.

Toreficētās koksnes rūpnīcai ar jaudu 100 tūkst. tonnas gadā siltumenerģijas patēriņš atbilst 16 MW_{th}, attiecīgi, koģenerācijas ciklā var saražot 4 MW_{el}. (31677 MWh gadā).

Kūdras izmantošanas priekšrocības granulā ražošanā izpaužas, pievienojot kūdras nelielā daudzumā koksnei (līdz 10 % no masas), kas ļauj uzlabot sadegšanas procesu un samazina katlu apkopju izmaksas. Ražošanā šāds paņēmieni nav īpaši populārs. Nav arī praktiskas pieredzes par dažādu maisījumu sagatavošanas un

³ Dabiski mitrs materiāls.

kurināmā sastāva optimizēšanas iespējām. Šajā virzienā nepieciešami pētījumi sadarbībā ar apkures katlu un granulāžu ražotājiem, īpašu uzsvāri liekot uz nosacīti mazvērtīgās (zaļo un koku) kūdras izmantošanu.

Alternatīva tehnoloģija, ko pielieto Austrālijā un Jaunzēlandē, ir toreficētās biomasas pielietošana augsnes ielabošanai, izmantojot to kā kūdras vai kūtsmēslu aizstājēju, lai samazinātu CO₂ emisijas no augsnes.

Paaugstinot pirolīzes procesa temperatūru virs 300 °C iegūst kokogles, darvas un gāzveida kurināmo (tvana gāzi). Viens no vērtīgākajiem praksē pielietotajiem pirolīzes produktiem ir aktīvā ogle – poraina ogle ar lielu virsmas laukumu, kas efektīvi absorbē dažādus savienojumus, tajā skaitā vides piesārņojumu. Aktīvo ogli izmanto, lai samazinātu smago metālu piesārņojumu gan šķidrums, gan gāzveida savienojumos. Dažādiem aktīvās ogles produktiem ir piemīt izteikti atšķirīgas īpašības, atkarībā no izejvielu un aktivācijas tehnika, ko izmanto to ražošanā. Pārdošanā aktivētā ogle ir pieejama sausā pulvera, granulāžu, briķešu, suspensiju un tablešu veidā.

Pasaules aktīvās ogles tirgus patlaban iedzīvo izaugsmi. Lielākais aktīvās ogles patērētājs ir ūdens filtrācija, apstrāde un attīrīšana, savukārt, visstraujākā izaugsme notiek dzīvsudraba uztveršanas un ogļu spēkstaciju dūmgāzu attīrīšanas segmentos. Kopējais apgrozījums aktīvās ogles produktu tirgū ir aptuveni 1 800 milj. USD. Aktivētās ogles produktiem ir vairāk nekā 150 specializētas tirgus nišas.

Aktivēto ogli visbiežāk ražo no oglēm vai kokosriekstu čaumalām, taču aktivētās ogles ražošanā var izmantot arī kūdras un koksni. Izejvielas iziet ķīmisko vai fizikālo aktivizāciju. Ķīmiskās aktivizācijas procesu pielieto, galvenokārt, ražojot aktīvo ogli, ko izmanto notekūdeņu attīrīšanā. Fizikālo aktivizāciju parasti pielieto granulētu produktu ražošanai dūmgāzu attīrīšanai. Fizikāli aktīvo ogli, ko injicē dūmgāzu plūsmu attīrīšanai, kā arī dzīvsudraba uztveršanai, pirms pielietošanas sasmalcina līdz pulverveida stāvoklim. Virsmas laukums un poru skaits ir tieši proporcionāls adsorbcijas produkta kvalitatīvajiem rādītājiem un ir vissvarīgākais produktu kvalitātes rādītājs. Aktivētās ogles virsmas laukumu būtiski ietekmē arī izmantotās izejvielas.

Termiskā apstrāde ļauj salīdzinoši neviendabīgas izejvielas, piemēram, kūdras granulāžu transformēt par homogēnu masu, kas piemērotas aktīvās ogles ražošanai. Aktivētās ogles ražošanas no kūdras un koksnes biomasas mārketinga priekšrocība ir fakts, ka lielāko daļu aktīvās ogles ražo no neatjaunojamiem resursiem (galvenokārt akmeņogļēm), kas rada SEG emisijas. Aktivētajā oglē, ko ražo no akmeņogļēm, ir 10-20 % pelnu, bet no biomasas izgatavotajā aktivētajā oglē ir aptuveni 1-2 % pelnu. Kūdras un koksnes biomasas pārstrāde bio-ogļēs ļauj iegūt arī citus vērtīgus materiālus, ko izmanto ķīmiskajā rūpniecībā. Piemēram, šķidrās biomasas pirolīzes produktus nākotnē, visticamāk, izmantots ārkārtīgi cietu un elastīgu šķidro kristālu ekrānu izgatavošanā.

Aktīvās ogles adsorbējošās īpašības padara šo produktu noderīgu daudzām vajadzībām, tai skaitā dzeramā ūdens attīrīšanas sistēmās un elektroenerģijas ražošanas iekārtām. Šiem tirgiem tiek piedēvēts milzīgs izaugsmes potenciāls. Citas aktīvās ogles pielietojuma jomas ir cukura un saldinātāju atkrāsošana, dzeramā ūdens attīrīšana, zelta atgūšanu, farmaceitisko un smalko ķīmisko vielu ražošanu, izplūdes gāzu apstrāde atkritumu sadedzināšanas iekārtās, automobiļu tvaika filtri, kā arī krāsas un smaržas korekcija vīnā un augļu sulās.

Izejvielas un aktivizācijas tehnoloģija ietekmē aktivētās ogles adsorbcijas spēju, attiecīgi, arī noteikta vielu daudzuma saistīšanai nepieciešamā materiāla apjomu, tāpēc pētnieciskā darbība pēdējās desmitgadēs vērsta galvenokārt uz tehnoloģisko režīmu un izejvielu sastāva pilnveidošanu, lai iegūtu materiālu ar pēc iespējas poraināku virsmu.

Patreizējais aktivētās ogles tirgus ir aptuveni 1,2 milj. tonnas, paredzams, ka tuvākajos gados tas pieaugs līdz 1,9 milj. tonnām. Aktivētās ogles cena starptautiskajos tirgos svārstās no 500 USD līdz 3000 USD par tonnu, atkarīga no produkta kvalitātes, vidējā cena par vienu tonnu ir 1900 USD. Labākās kvalitātes aktivētā ogle var maksāt 9000 USD par tonnu. Paredzams, ka viens no straujāk augošajiem aktivētās ogles tirgiem nākotnē būs ASV, kur saskaņā ar Vides aģentūras izdotajiem "Tīrā gaisa noteikumiem" (Clean air act) plānots būtiski samazināt dzīvsudraba emisijas no ogļu termoelektrostacijām. Augstas kvalitātes aktivētās ogles pieprasījums aug dator-rūpniecībā un citās nozarēs, kur nepieciešams īpaši attīrīts gaiss.

Secinājumi

1. Kūdras ieguve nav viennozīmīgi interpretējama kā SEG emisiju avots, jo SEG emisijas no dabiski vai cilvēka saimnieciskās darbības rezultātā nosusinātām organiskām augsnēm ilgtermiņā (300 gadi) var būtiski pārsniegt kūdras ieguves, tajā skaitā kūdras produktu radītās emisijas. Īsākā termiņā (līdz 200 gadiem) kūdras ieguve var neradīt SEG emisiju samazinājumu, salīdzinot ar fosilo kurināmo.
2. Lielāko SEG emisiju samazinājumu nodrošina aizstāšanas efekts, t.i. kūdras izmantošana akmeņogļu vietā elektrostacijās un termoelektrocentrālēs. Dabasgāzes aizstāšana ar kūdru nodrošinās SEG emisiju samazinājumu būtiski ilgākā laikā posmā, nekā akmeņogļu aizstāšana, tāpēc ES mērķu kontekstā izdevīgāka kurināmās kūdras eksportēšana, nevis izmantošana vietējās apkures sistēmās, aizstājot dabasgāzi.
3. Lai nodrošinātu SEG emisiju samazināšanas efektu, pirmkārt, ir jāapgūst kūdras atradnes meža zemēs (kūdreņos), tad kūdras atradnes, kas sagatavotas izstrādei vēl Padomju periodā un tikai pēc tam ir lietderīgi vērtēt jaunu purvu apguves iespējas. Ņemot vērā, ka gruntsūdens līmenis dažādu faktoru ietekmē var izmainīties, arī dabiski purvi, it īpaši zemā un pārejas tipa purvi var kļūt par SEG emisiju avotu. Arī šādu purvu izstrāde ilgtermiņā var nodrošināt SEG emisiju samazinājumu, aizstājot fosilo kurināmo ar kūdru.
4. SEG emisiju samazinājumu, izmantojot kūdru no purviem, kas ir neto SEG emisiju avots, var nodrošināt, arī, ražojot kūdras produktus ar ilgu kalpošanas termiņu (siltumizolācijas materiāls, kompozītmateriāli), taču pagaidām trūkst informācijas par šo produktu ražošanas un izmantošanas radītajām SEG emisijām.
5. SEG emisiju samazināšanas izteiksmē efektīvākie risinājumi izstrādātu kūdras atradņu rekultivācijai ir meža ieaudzēšana, saglabājot funkcionējošas meliorācijas sistēmas, un īscirtmeta plantāciju ierīkošana biokurināmā ieguvei. Pārējie kūdras atradņu rekultivācijas risinājumi nenodrošina SEG emisiju samazināšanas efektu arī ilgtermiņā, neatkarīgi no sākotnējām SEG emisijām attiecīgajā platībā. Tomēr jārēķinās ar to, ka meža ieaudzēšana ne vienmēr ir iespējama, tāpēc vairumā gadījumu būs nepieciešams kompleks risinājums, kas ietver dažādus rekultivācijas paņēmienus.

Literatūra

1. Alm, J., Narasinha, J. S., Minkkinen, K., Lasse, A., Lasse, A., Hytönen, J., Laurila, T., Lohila, A., Maljanen, M., Martikainen, P. J., Penttilä, T., Mäkiranta, P., Saarnio, S., Silvan, N., Tuittila, E.-S. & Laine, J. (2007). Emission factors and their uncertainty for the exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish managed peatlands. *Boreal Environment Research* 12, 191–206.
2. Basiliko, N., Blodau, C., Roehm, C., Bengtson, P. & Moore, T. R. (2007). Regulation of Decomposition and Methane Dynamics across Natural, Commercially Mined, and Restored Northern Peatlands. *Ecosystems* 10(7), 1148–1165.
3. Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Kiyoto, T. (Eds.) (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES). 678 p.
4. Hagberg, L. & Holmgren, K. (2008). *The climate impact of future energy peat production* [online]. Stockholm. (B1796).
5. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Fukuda, M., Troxler, T. & Jamsranjav, B. (2013). 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands [online]. Switzerland.
6. Holmgren, K. & Alm, J. (2011). *Peat impact, greenhouse gas calculation methodologies for fuels based on peat and peat grown biomass*. Stockholm.
7. Holmgren, K. & Hadberg, L. (2009). *Life cycle assessment of climate impact of Fischer-Tropsch diesel based on peat and biomass* [online]. Stockholm. (B1833).
8. Holmgren, K., Kirkinen, J. & Savolainen, I. (2006). *The climate impact of energy peat utilisation – comparison and sensitivity analysis of Finnish and Swedish results* [online]. Stockholm. (B1681).
9. Höglund, J. & Martinsson, F. (2013). *Comparative review of variations in LCA results and peatland emissions from energy peat utilisation - IVL Svenska Miljöinstitutet* [online]. Stockholm. (B2123).
10. Jaan Pärn, A. A. (2015). Global Boundary Lines of N₂O and CH₄ Emission in Peatlands. 87–102.
11. Joosten H., Clarke D (2002): Wise use of mires and peatlands - Background and principles including a framework for decision-making. International Mire Conservation Group / International Peat Society, Finland, 304 p.
12. Kari Minkkinen, T. P. (2007). Tree stand volume as a scalar for methane fluxes in forestry-drained peatlands in Finland. *Boreal Environment Research* 12, 127–132.
13. Kasimir-Klemedtsson, Å., Klemedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P., Silvola, J. & Oenema, O. (1997). Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management* 13, 245–250.
14. Kirkinen, J. & Minkinen, M. (2007). Greenhouse impact due to different peat fuel utilisation chains in Finland - a life - cycle approach. *Boreal environment research* 12, 211–223.
15. Kirkinen, J., Valtion teknillinen tutkimuskeskus (2010). *Greenhouse impact assessment of some combustible fuels with a dynamic life cycle approach*. Diss. [Espoo, Finland]: VTT.
16. Klemedtsson, Å. K., Klemedtsson, L., Stenberg, M. & Weslien, P. (2005). Nitrous oxide emissions and nitrogen use efficiency., Botanical Institute, 2005. Botanical Institute: Department of Earth Sciences.
17. LIFE+ project “Boreal Peatland Life” - restoring the natural soil conditions of Finland’s peatlands to help meet the EU’s greenhouse gas emission targets by 2030.
18. Limpens J., Berendse F., Blodau C., Canadell J. G., Freeman C., Holden J., Roulet N., Rydin H., Schaepman-Strub G. (2008). Peatlands and the carbon cycle: from local processes to global implications – a synthesis, *Biogeosciences* 5: 1475-1491.

19. Lohila, A. (2008). Carbon dioxide exchange on cultivated and afforested boreal peatlands. [online], Available from: https://www.etde.org/etdeweb/details_open.jsp?osti_id=1042425. [Accessed 2013-11-25].
20. Lohila, A., Laurila, T., Aro, L., Aurela, M., Tuovinen, J.-P., Laine, J., Kolari, P. & Minkkinen, K. (2007). Carbon dioxide exchange above a 30-year-old Scots pine plantation established on organic-soil cropland. *Boreal Environment Research* 12, 141–157.
21. Maljanen, M. & Hytonen, J. (2007). Greenhouse gas emissions from cultivated and abandoned organic croplands in Finland. *BOREAL ENVIRONMENT RESEARCH* 12, 133–140.
22. Maljanen, M., Liikanen, A., Silvola, J. & Martikainen, P. J. (2003). Nitrous oxide emissions from boreal organic soil under different land-use. *Soil Biology and Biochemistry* 35(5), 689–700.
23. Maljanen, M., Shurpali, N., Hytönen, J., Mäkiranta, P., Aro, L., Potila, H., Laine, J., Li, C. & Martikainen, P. (2012). Afforestation does not necessarily reduce nitrous oxide emissions from managed boreal peat soils. *Biogeochemistry* 108(1), 199–218.
24. Maljanen, M., Sigurdsson, B. D., Guðmundsson, J., Óskarsson, H., Huttunen, J. T. & Martikainen, P. J. (2010). Greenhouse gas balances of managed peatlands in the Nordic countries – present knowledge and gaps. *Biogeosciences* 7(9), 2711–2738.
25. Mäkiranta, P., Hytönen, J., Aro, L., Maljanen, M., Pihlatie, M., Potila, H., Shurpali, N. J., Laine, J., Lohila, A., Martikainen, P. J. & Minkkinen, K. Soil greenhouse gas emissions from afforested organic soil croplands and cutaway peatlands. *Boreal environment research* 12(2), 159–175.
26. Mäkiranta, P., Hytönen, J., Aro, M., M., Pihlatie, M., Potila, H., Shurpali, N., Laine, J., Lohila, A., Martikainen, P. J. & Minkkinen, K. (2007). Soil greenhouse gas emissions from afforested organic soil croplands and cutaway peatlands. *Boreal Environment* 12, 159–175.
27. Nilsson, K. & Nilsson, M. (2004). *The Climate Impact of Energy Peat Utilisation in Sweden – the Effect of former Land-Use and Aftertreatment* [online]. Stockholm. (B1606).
28. Ojanen, P., Minkkinen, K. & Penttilä, T. (2013). The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 289, 201–208.
29. Peatlands - guidance for climate change mitigation through conservation, rehabilitation and sustainable use, 2012. Hans Joosten, Marja-Liisa Tapio-Biström & Susanna Tol (eds.), FAO and Wetlands International, Rome, 114 p.
30. Reed, M.S., Bonn, A., Evans, C., Glenk, K., Hansjurgens, B. 2014. Assessing and valuing peatland ecosystem services for sustainable management. *Ecosystem Services*, 9. 1-4.
31. Saarnio, S., Morero, M., Shurpali, N. J., Tuittila, E.-S., Alm, J. & Mäkilä, M. (2007). Annual CO₂ and CH₄ fluxes of pristine boreal mires as a background for the lifecycle analyses of peat energy. *Boreal environment research* 12, 101–113.
32. Salm J.-O., Kimmel K., Uri V. & Mander Ü. (2009). Global Warming Potential of Drained and Undrained Peatlands in Estonia: A Synthesis. *Wetlands* 29(4), 1081–1092.
33. Salm, J.-O., Maddison, M., Tammik, S., Soosaar, K., Truu, J. & Mander, Ü. (2011). Emissions of CO₂, CH₄ and N₂O from undisturbed, drained and mined peatlands in Estonia. *Hydrobiologia* 692(1), 41–55.
34. Salm, J. O. (2012). *Emission of greenhouse gases CO₂, CH₄, and N₂O from Estonian transitional fens and ombrotrophic bogs: the impact of different land-use practice*. Diss. Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus. Available from: http://dspace.utlib.ee/dspace/bitstream/handle/10062/25471/salm_jyri_ott.pdf?sequence=1.
35. Salm, J.-O., Maddison, M., Tammik, S., Soosaar, K., Truu, J. & Mander, Ü. (2012). Emissions of CO₂, CH₄ and N₂O from undisturbed, drained and mined peatlands in Estonia. *Hydrobiologia* 692(1), 41–55.
36. Strack, M. & Waddington, J. M. (2008). Spatiotemporal variability in peatland subsurface methane

- dynamics. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 113(G2), n/a–n/a.
37. Strategy for Responsible Peatland Management. 2010. ed. Clarke D., Rieley J. International Peat Society, Finland, 44 p.
38. Sundh, I., Nilsson, M., Mikkilä, C., Granberg, G. & Svensson, B. H. (2000). Fluxes of Methane and Carbon Dioxide on eat-mining Areas in Sweden. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 29(8), 499–503.
39. Tuittila, E.-S., Komulainen, V.-M., Vasander, H. & Laine, J. (1999). Restored cut-away peatland as a sink for atmospheric CO₂. *Oecologia* 120(4), 563–574.
40. Towards climate-responsible peatlands management FAO. 2014. Biancalani R. and Avagyan A. (Eds). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 117 p. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i4029e.pdf>
41. Ülo Mander J. J. (2012). Reed canary grass cultivation mitigates greenhousegas emissions from abandoned peat extraction areas. *GCB Bioenergy* 4(4), 462–474.
42. Vymazal, J. (2008). *Wastewater Treatment, Plant Dynamics and Management in Constructed and Natural Wetlands*. Springer. ISBN 9781402082351.
43. Väisänen, S., Silvan, N., Ihalainen, A. & Soukka, R. (2013). Peat Production in High-Emission Level Peatlands - A Key to Reducing Climatic Impacts? *Energy & Environment* 24(5), 757–778.
44. Zetterberg, L. & Chen, D. (2011). *The time aspect of bioenergy - climate impacts of bioenergy due to differences in carbon uptake rates* [online]. Stockholm. (B1989).
45. Zetterberg, L., Uppenberg, S. & Åhman, M. (2004). Climate impact from peat utilisation in Sweden.
46. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 9(1), 37–76.