

CO₂ Sequestration – an Example of Nordic – Baltic Scientific Co-operation

Rein Kuusik

Leading Research Scientist

Laboratory of Inorganic Materials

Tallinn University of Technology

Ettekande kava

- Projekti üldkirjeldus
- Partnerite tegevussuunad
- Suunad CO₂ emissiooni piiramiseks
 - CO₂ püüdmine ja transport
 - CO₂ ladustamine (s.h. mineraliseerimine)
- CO₂ emissioonist Eestis ja naabermaades
- Eesti lähenemine
 - põlevkivienergeetika spetsiifika
 - kontseptsioon CO₂ tehnoloogiliseks sidumiseks
 - üldised tulemused
 - publikatsioonid
- Kokkuvõte

Nordic CO₂ Sequestration - general

- 2003 – 2006
- Nordic Energy Research, 12 840 000 NOK
- Nordic countries:
 - Norway , Sweden, Finland, Denmark
- Baltic countries:
 - Estonia, Latvia, Lithuania,
- North-West Russia

Basic scope

- The partners research projects in the joint work were chosen to combine the interests
 - of giving a good overall programme
 - of achieving good opportunities for the PhD students to develop
- The latter means that the experience and competence of the host institution was important in the choice
- The activities will include longer stays for the doctoral students in other Nordic countries, seminars, workshops, courses and Nordic conferences
- Programme will thus constitute a powerful Nordic-Baltic network, where new technologies can be developed, information is exchanged and disseminated, and where new projects can be born

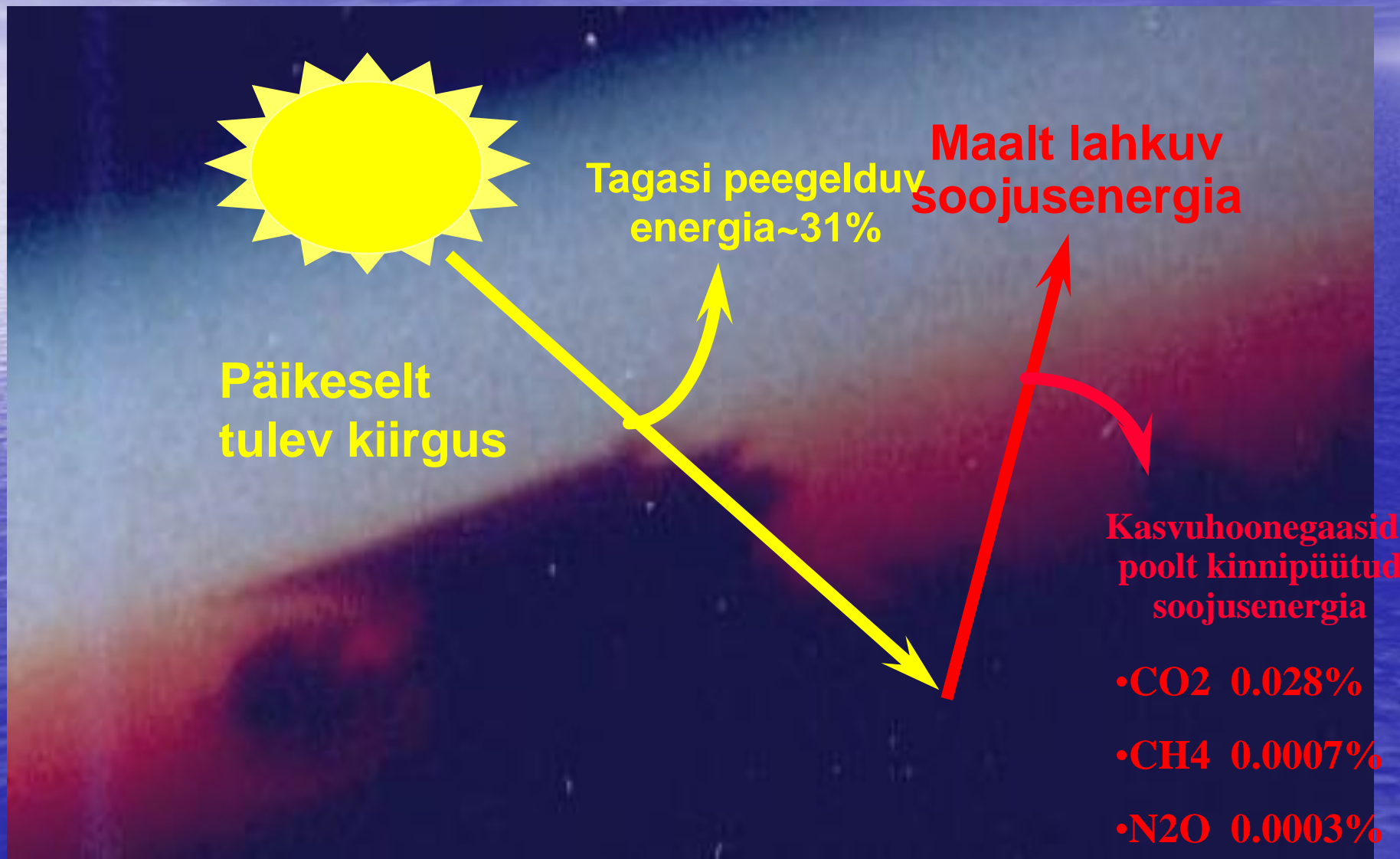
Basic idea

- Idea, that sequestration of CO₂ is possible at realistic costs, and also needed, has put a focus on these technologies
- This has inspired a rapid technological development of a number of new processes
- With the exception of CO₂ capture with monoethanolamine, which has been practiced at power plants commercially since the late seventies, many of these technologies are promising but in a state of early development

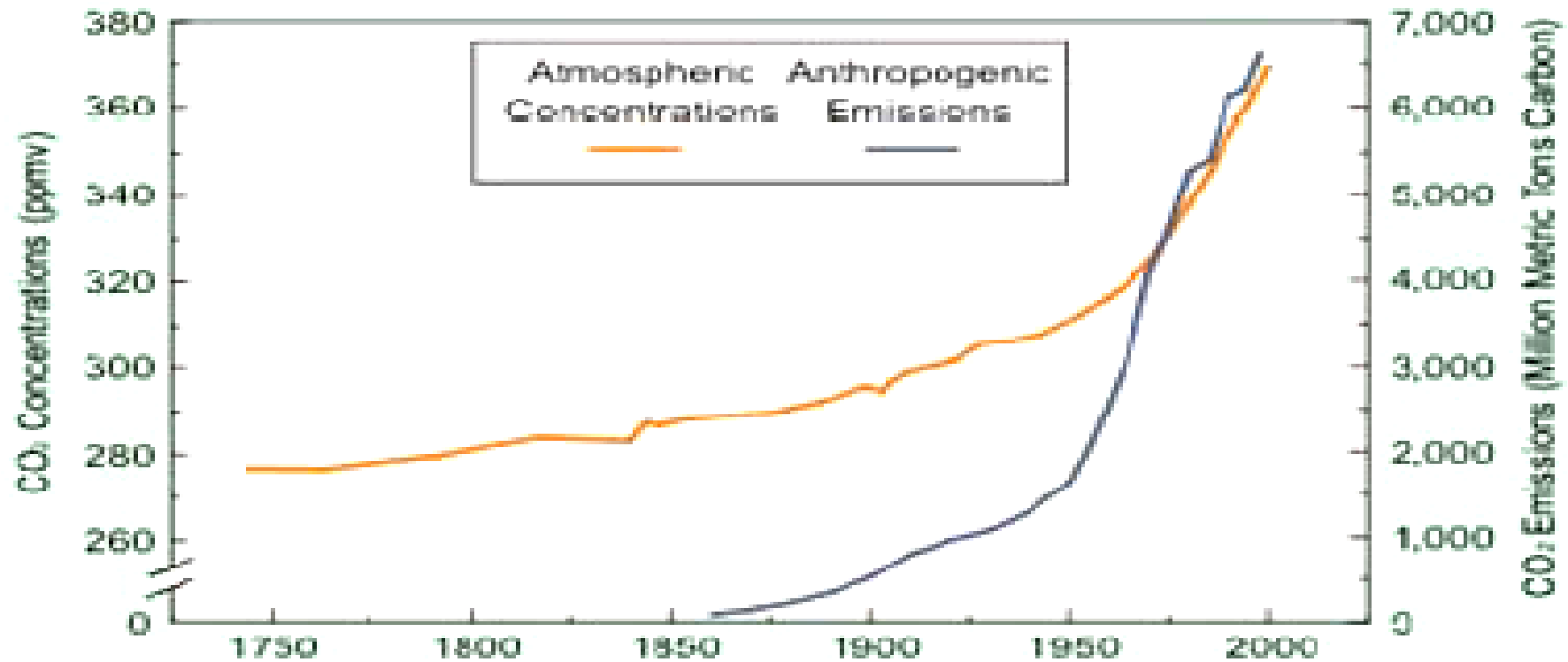
An aerial photograph of a vast, deep blue ocean stretching to the horizon. The sky is a lighter blue with wispy white clouds. The sun is visible on the left side, creating a bright reflection on the water's surface.

Taust - üldinfot

Atmosfääri energiabilanss

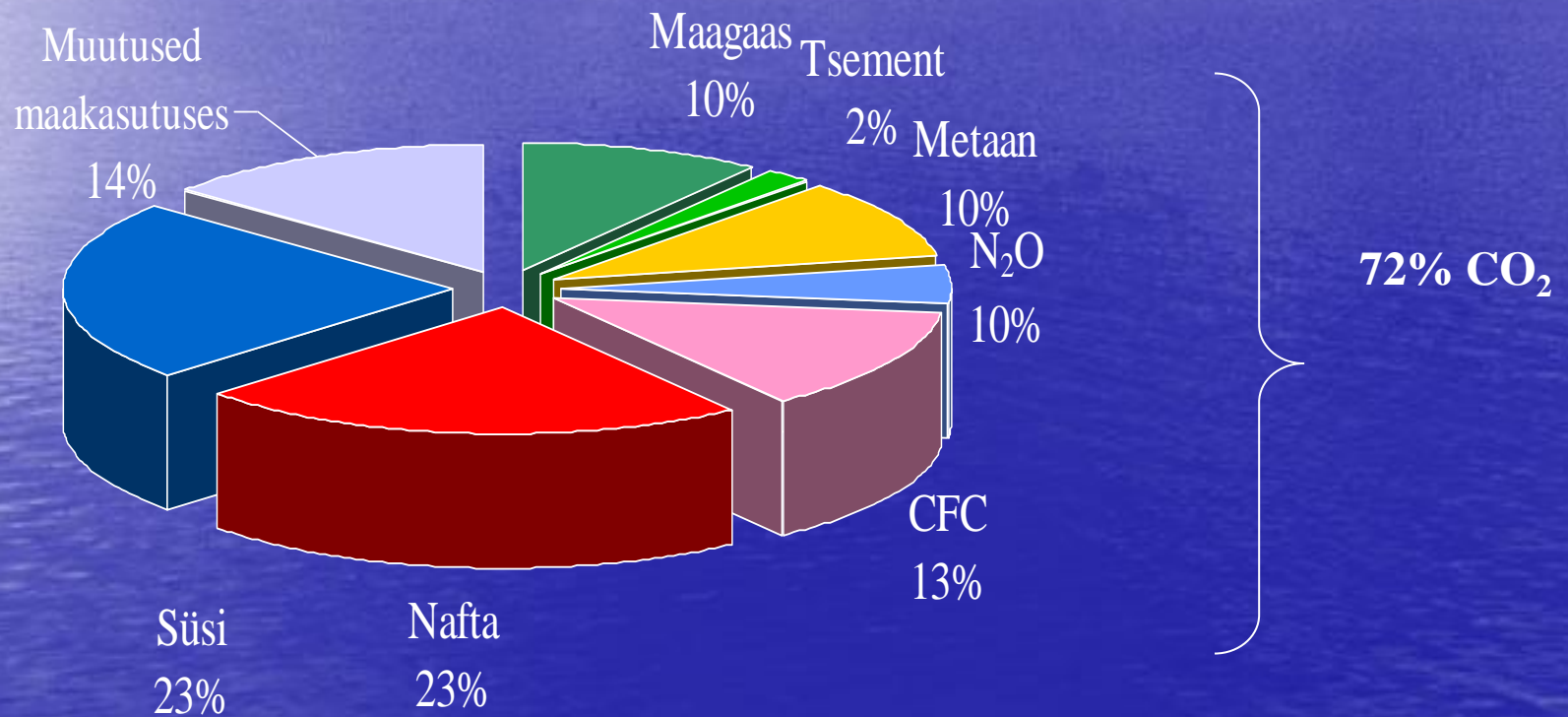


Antropogeenne CO₂ emissioon ja atmosfääriline CO₂ kontsentratsioon



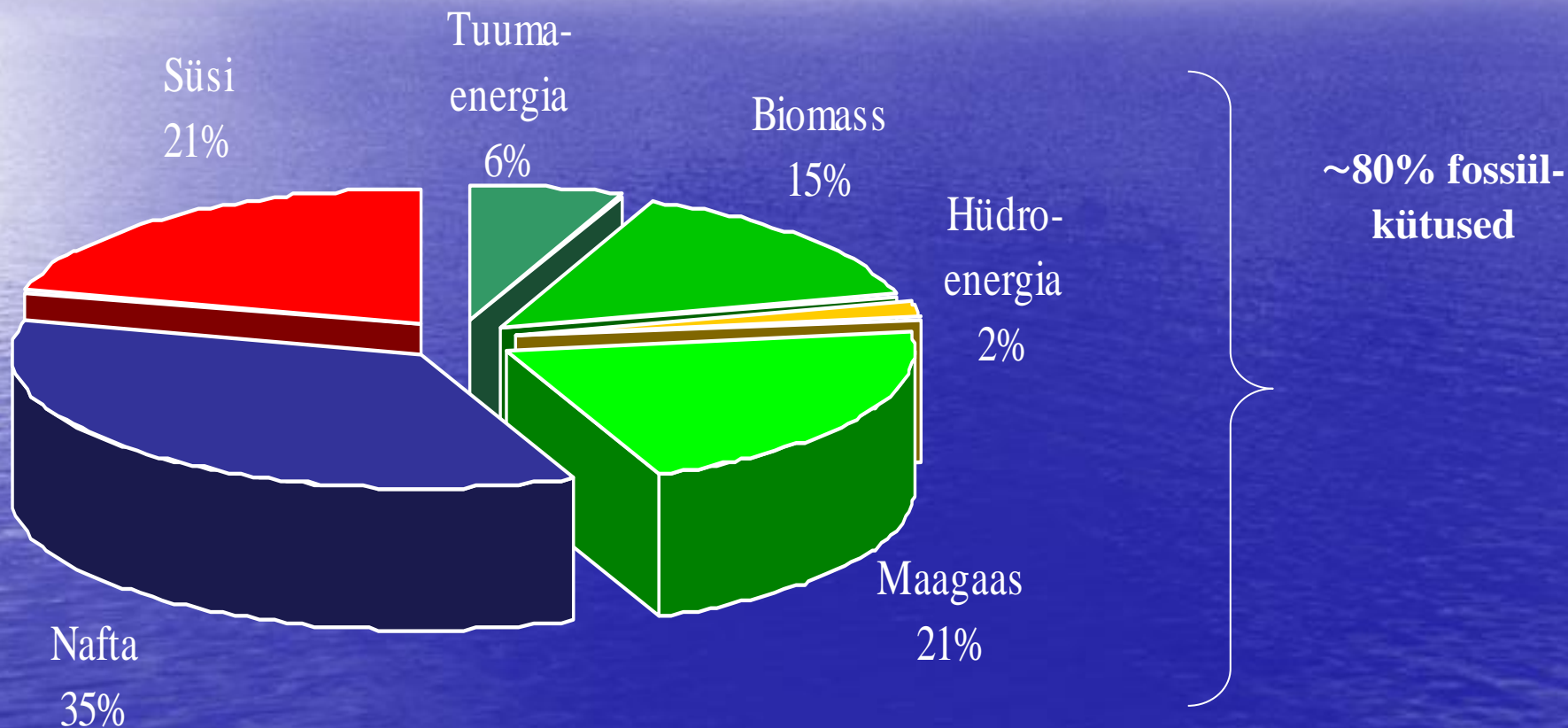
Source: Oak Ridge National Laboratory, Carbon Dioxide Information Analysis Center, <http://cdiac.esd.ornl.gov/>.

Antropogeense kasvuhuoneefekti allikad



Energia kasutamine maailmas aastal 2000

(Statistical review of world energy 2000)

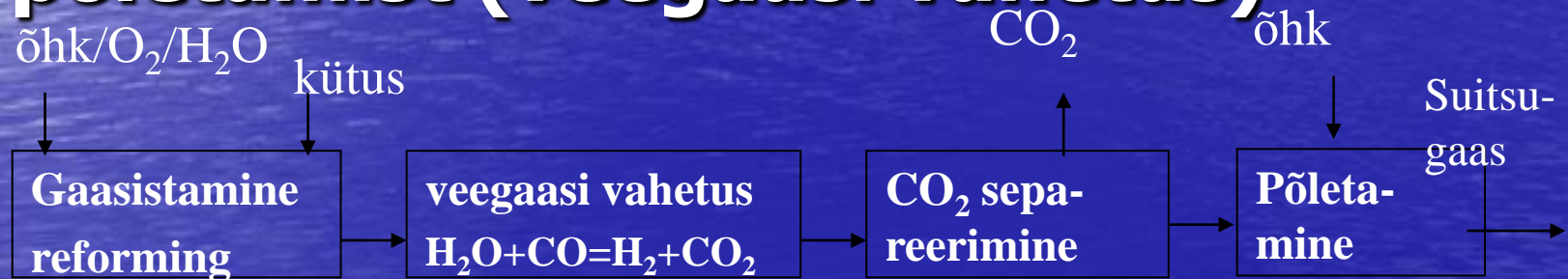


Suunad CO₂ emissiooni piiramiseks

- Vähendamine fossiilkütuste põletamisel
- Taastuvkütuste kasutamine
- Tuul ja vesi
- Päike
- Tuumaenergia
- Kütuseelemendid

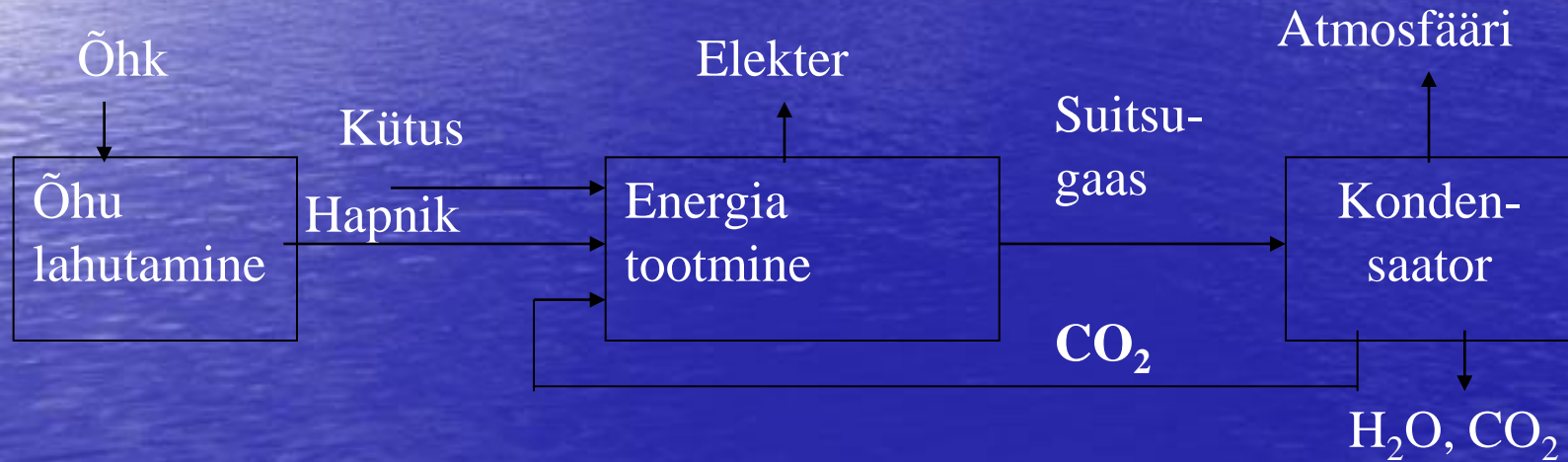
Suunad CO₂ emissiooni piiramiseks kütuste põletamisel

1. CO₂ püüdmine suitsugaasidest pärast kütuse põletamist
2. CO₂ püüdmine enne kütuse põletamist (veegaasi vahetus)



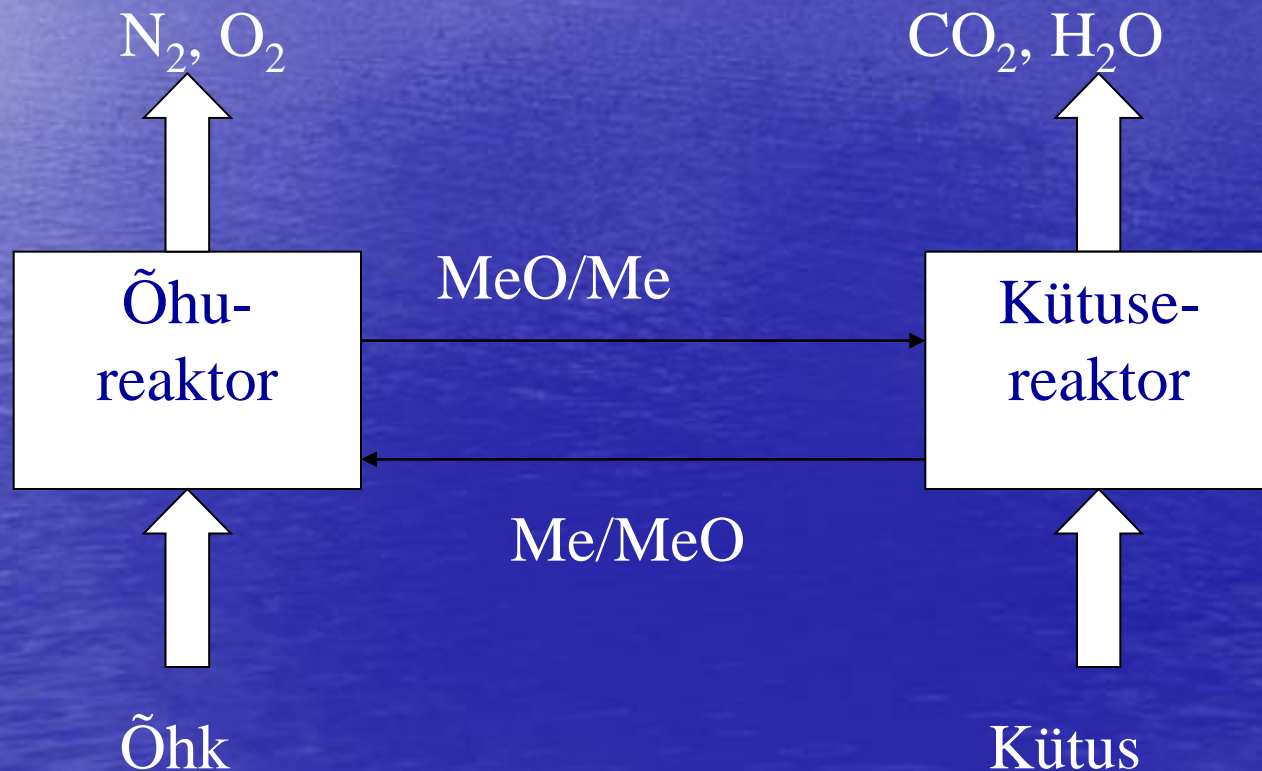
Suunad CO₂ emissiooni piiramiseks kütuste põletamisel

3. Kütuse põletamine hapnikus CO₂ retsirkulatsiooniga



Suunad CO₂ emissiooni piiramiseks

4. Keemiline hapnikuvahendus



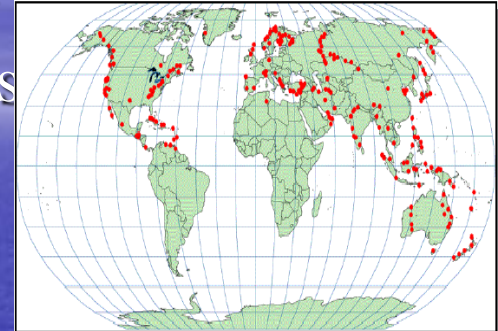
5. CO₂ mineraliseerimine - sidumine karbonaatidena

Positiivne:

- CO₂ sidumine Ca-Mg – karbonaatidena: stabiilseim tulemus
- mineraalide varud looduses on suuremad kui fossiils

Puudused:

- reaktsioon mineraali ja CO₂ vahel on aeglane
- vajalik suur kogus mineraali



Looduslikud mineraalid:



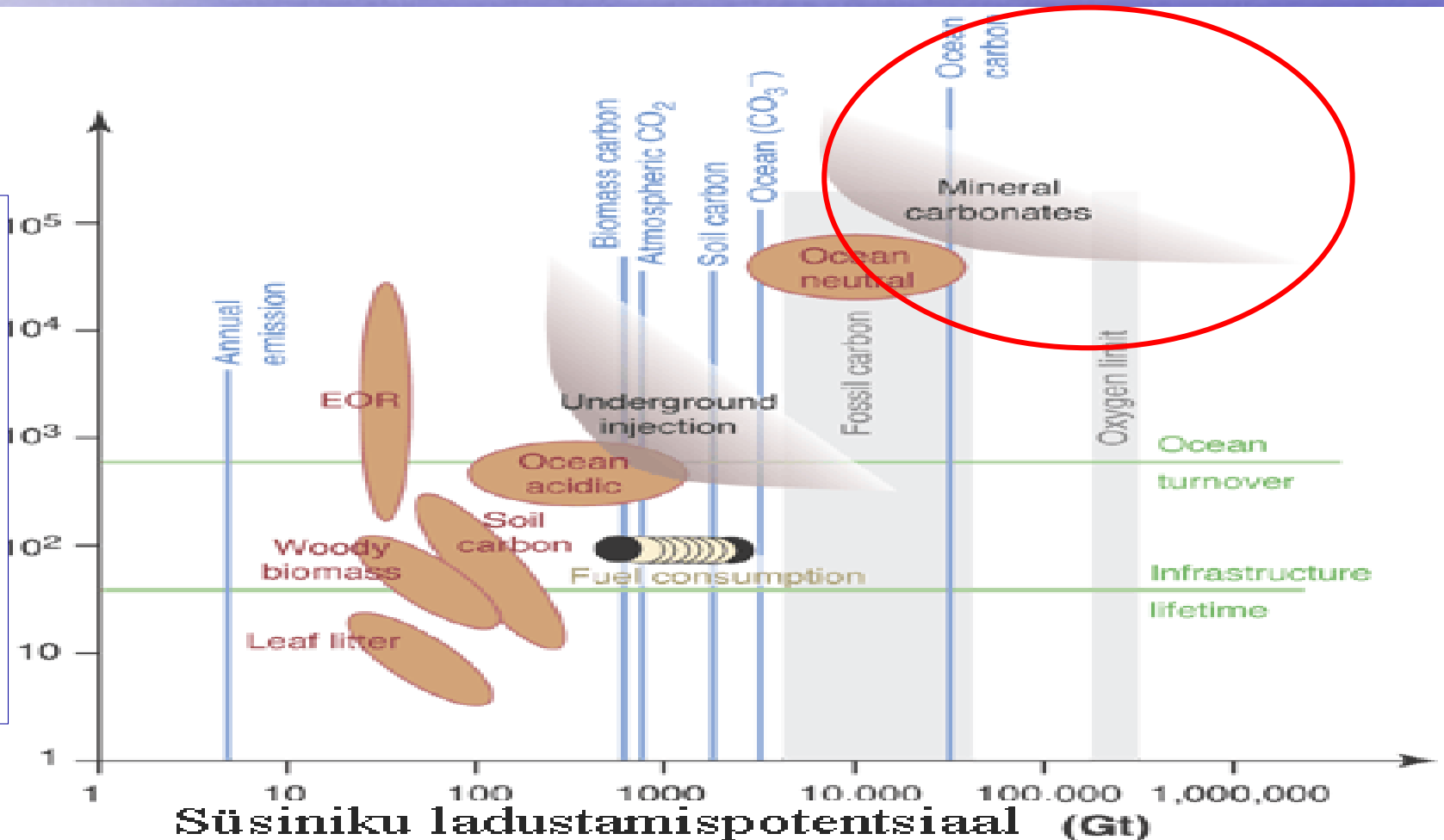
Leeliselised tööstusjätmed:

- Ca-Mg-sisaldavad tuhad, raua- ja terasetootmise räbud

Ladustamispotentsiaali ja -aja hinnang erinevatele sekvestreerimismeetoditele

(K. S. Lackner, Science, Vol. 300 13.6.2003. p. 1677-1678)

Ladustamisaeg aastates



Partners, representatives, focus - I

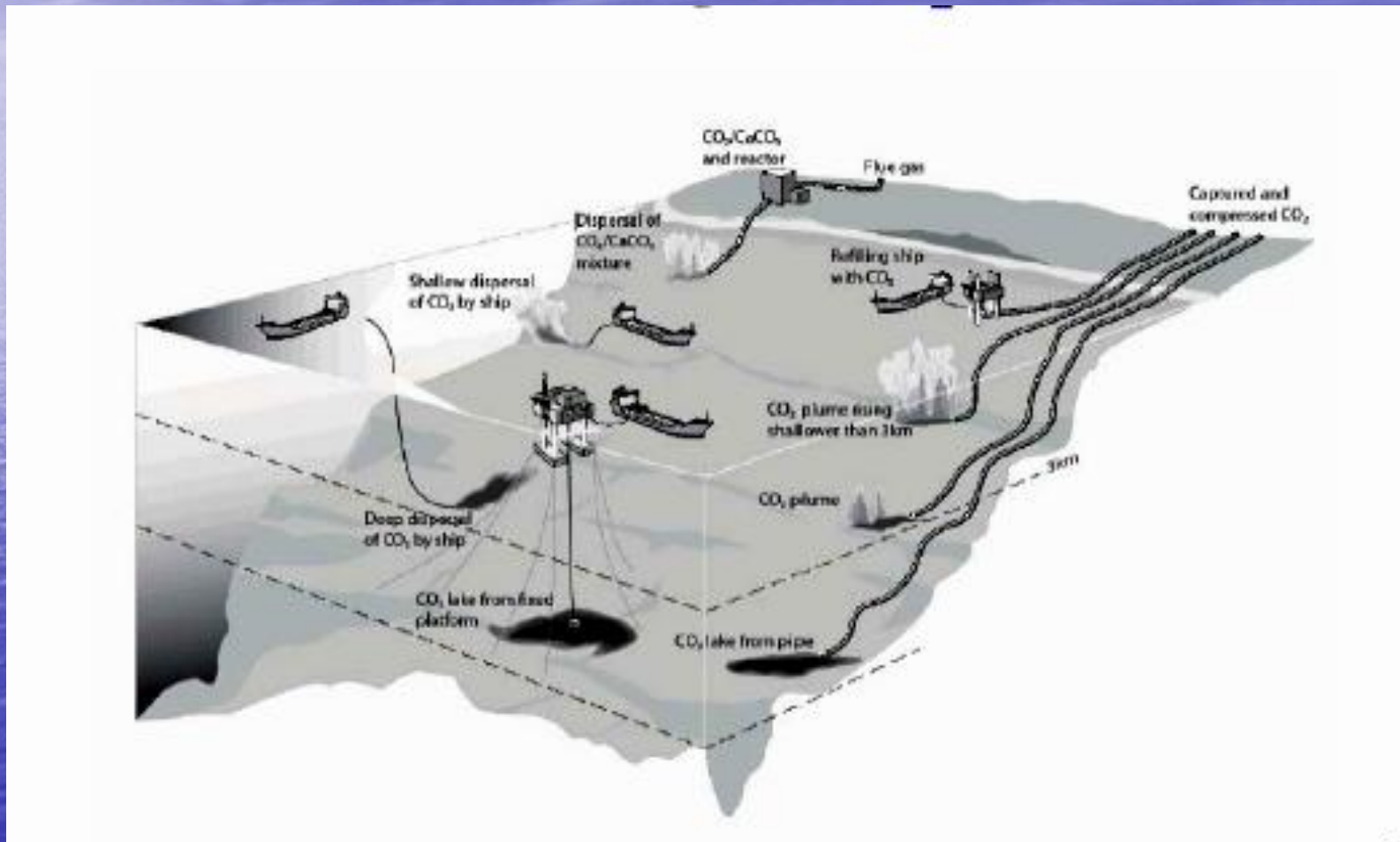
- Chalmers University of Technology, Dep. of Energy Conversion; Anders Lyngfeldt
 - *chemical looping combustion, oxy-fuel processes*
- Norwegian University of Science and Technology, Dep of Energy and Process Engineering; Truls Gundersen
 - *post- and precombustion methods, oxyfuel processes*
- Helsinki University of Technology, Dep.of Energy Engineering and Environmental Protection; Ron Zevenhoven
 - *mineral sequestration by silicates and wastes*
- Lyngby University of Technology, Dep. of Chemical Engineering; Erling Stenby
 - *hydrogen membranes*

Partners, representatives, focus - II

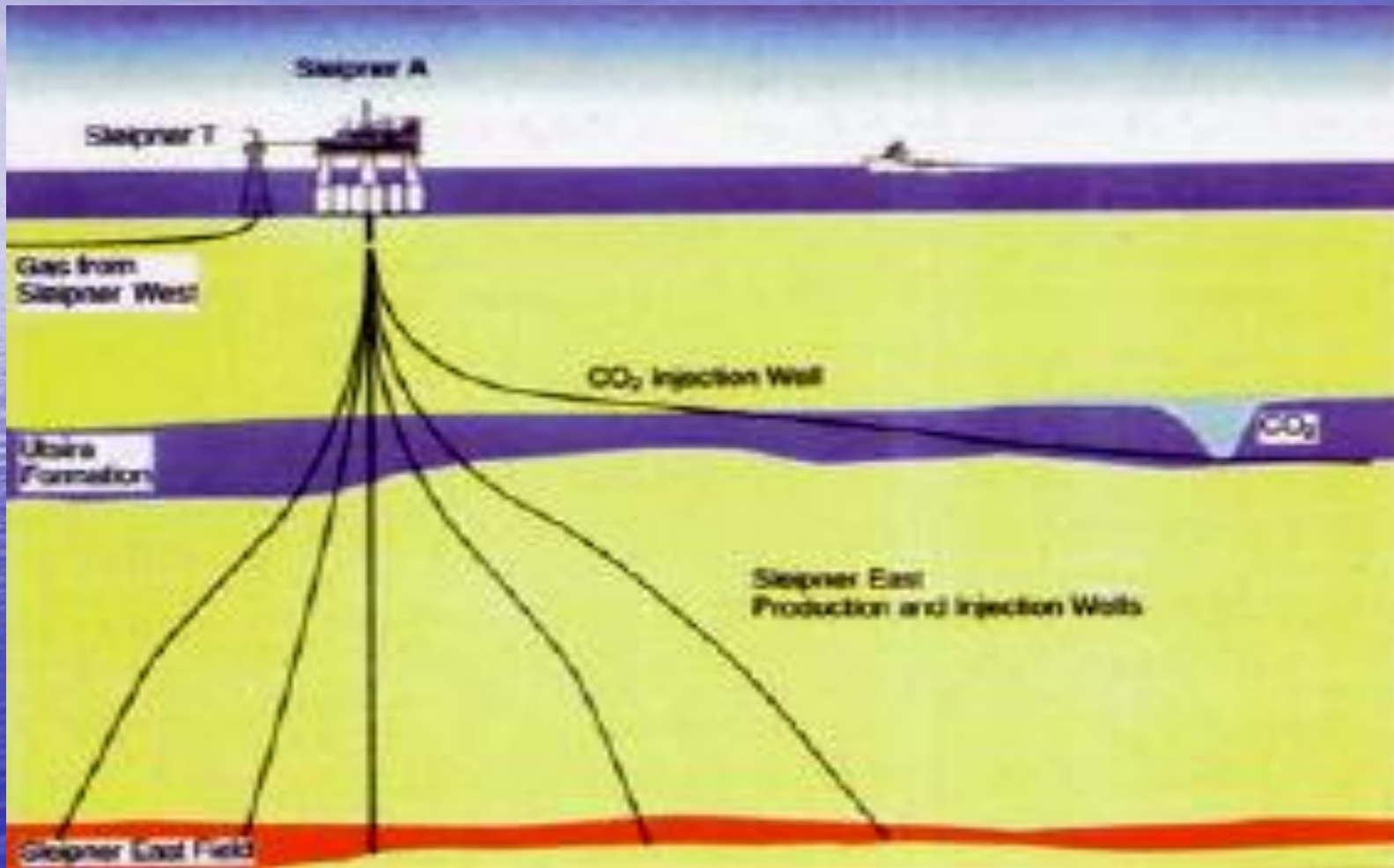
- Tallinn University of Technology, Laboratory of Inorganic Materials; Rein Kuusik
 - *CO₂ mineralization in oil shale energy production*
- Riga University of Technology; Dagnija Blumberga
 - *underground deposition*
- Kaunas University of Technology, Dep. of Environmental Engineering; Gintaras Denafas
 - *inventory and monitoring*
- Sankt-Petersburg State Mining Institute; Alexander Iljinsky
 - *inventory of CO₂ deposition resources*

CO₂ ladustamine

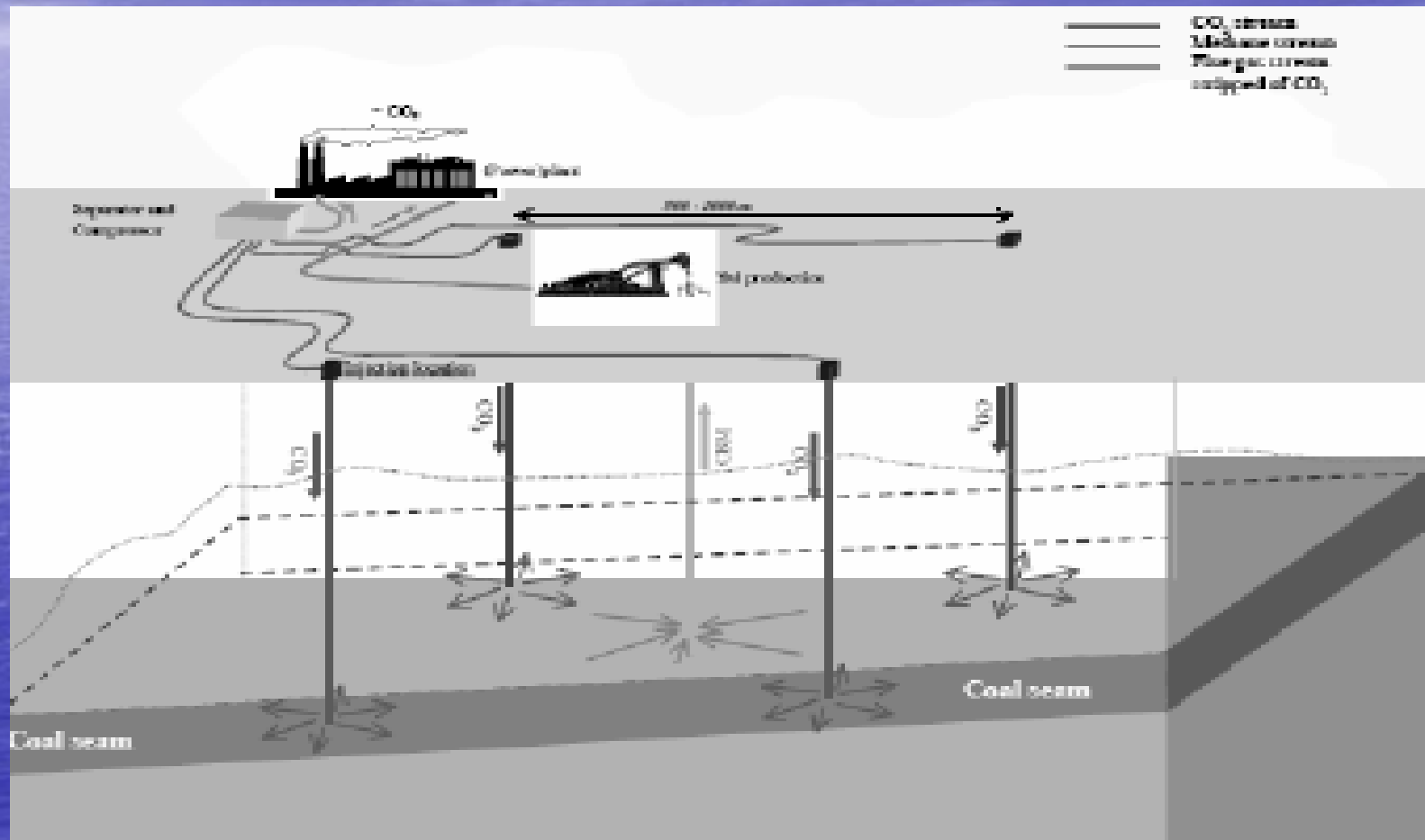
CO₂ ladustamine - ookeani süvakihid



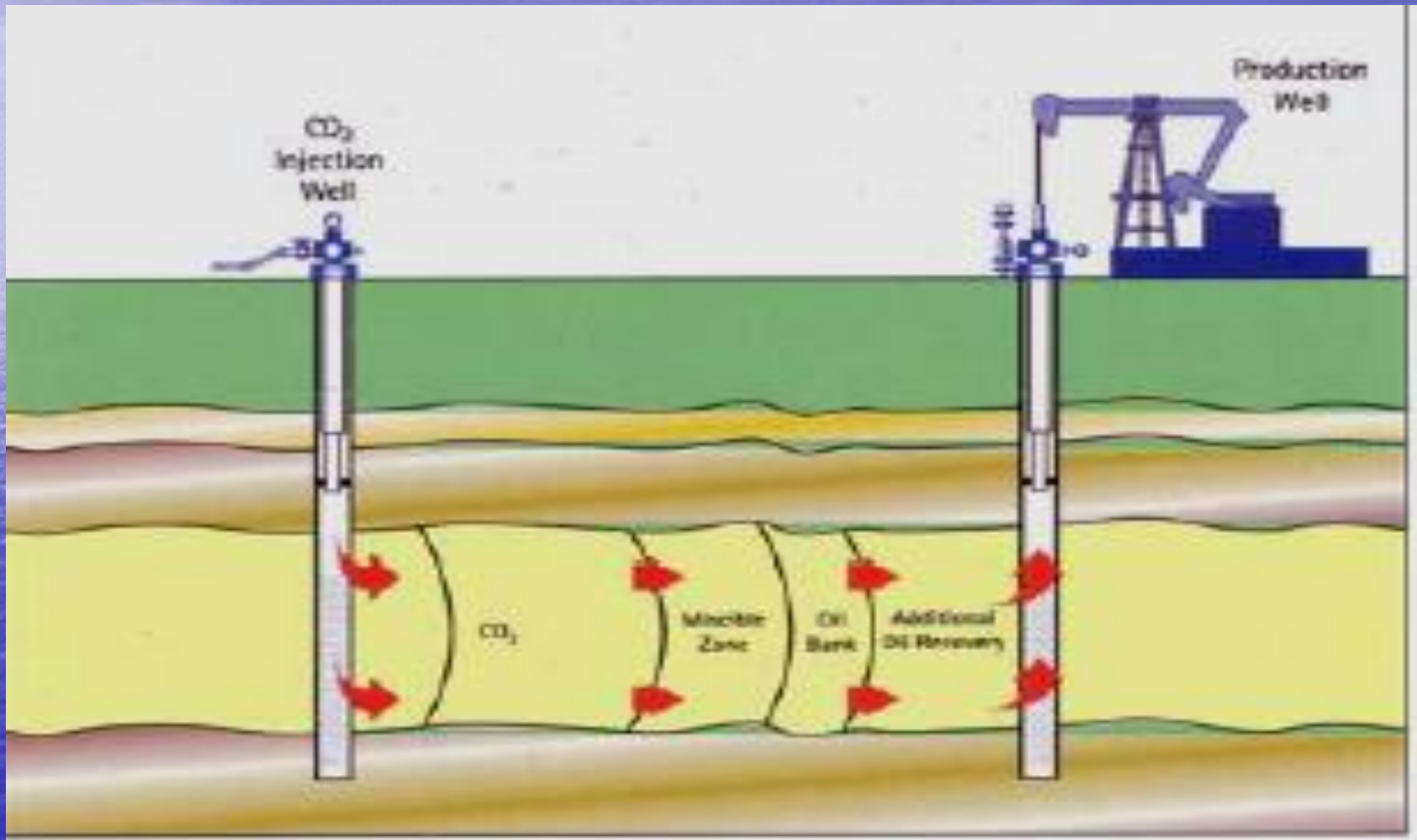
CO₂ ladustamine – maa-alused soola-vee süsteemid



CO₂ ladustamine - tühjendatud söemaardlad



CO₂ ladustamine - naftamaardlad (EOR)



CO₂ torujuhtmed Põhja-Ameerikas



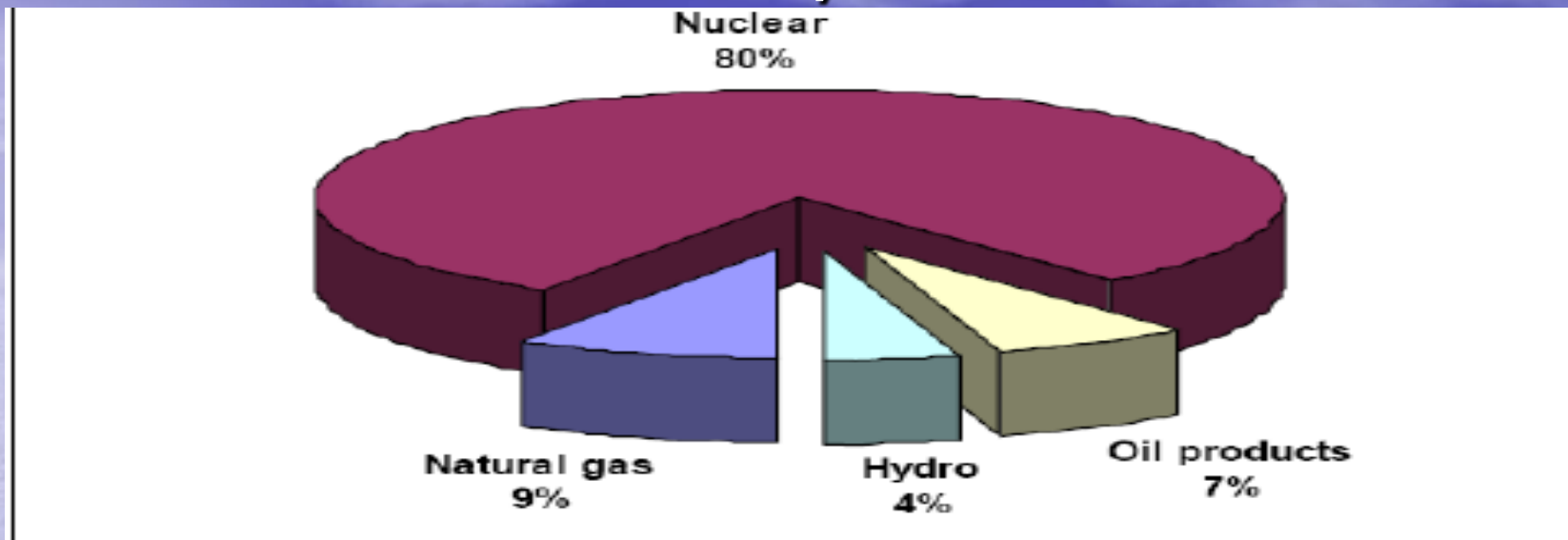


Olukord Eestis

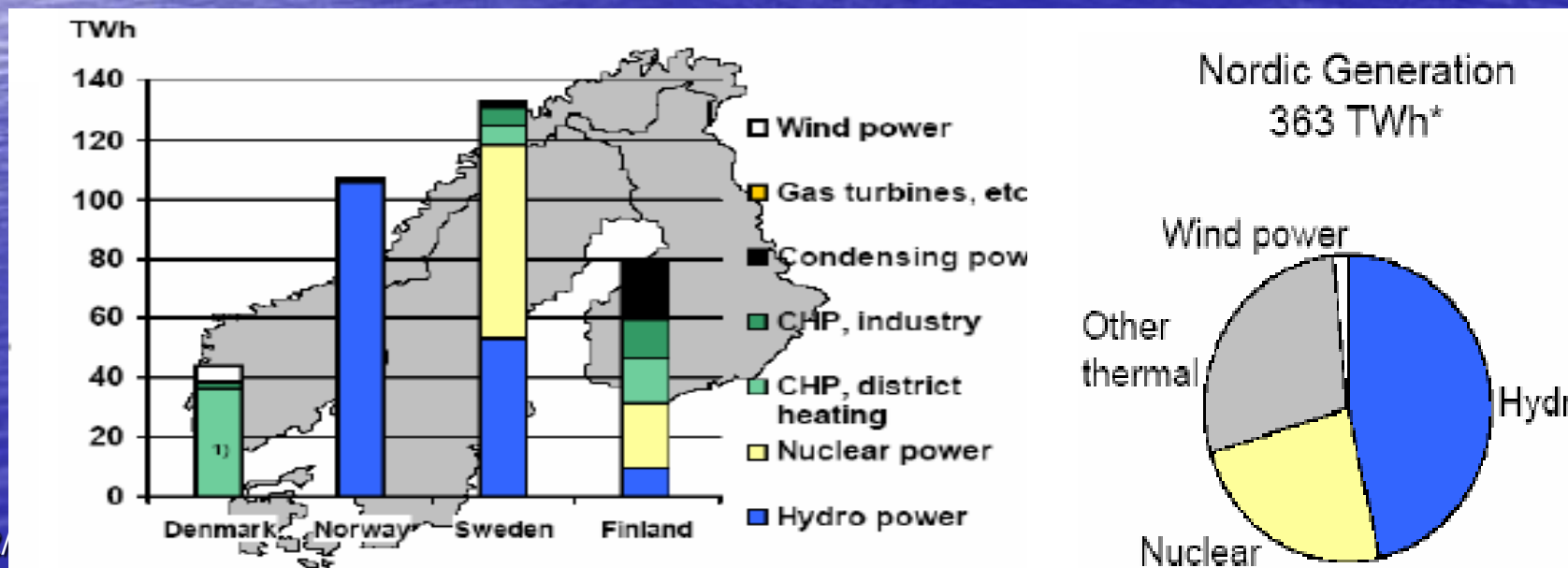
Elektri tootmine Eestis 2003, %

● Põlevkivi	92,15
● Maagaas	4,97
● Põlevkiviõli	0,32
● Hüdroenergia	0,13
● Tuul	0,06
● Muud	2,18

Elektri tootmine Leedus, 2002



Energia tootmine Põhjamaades

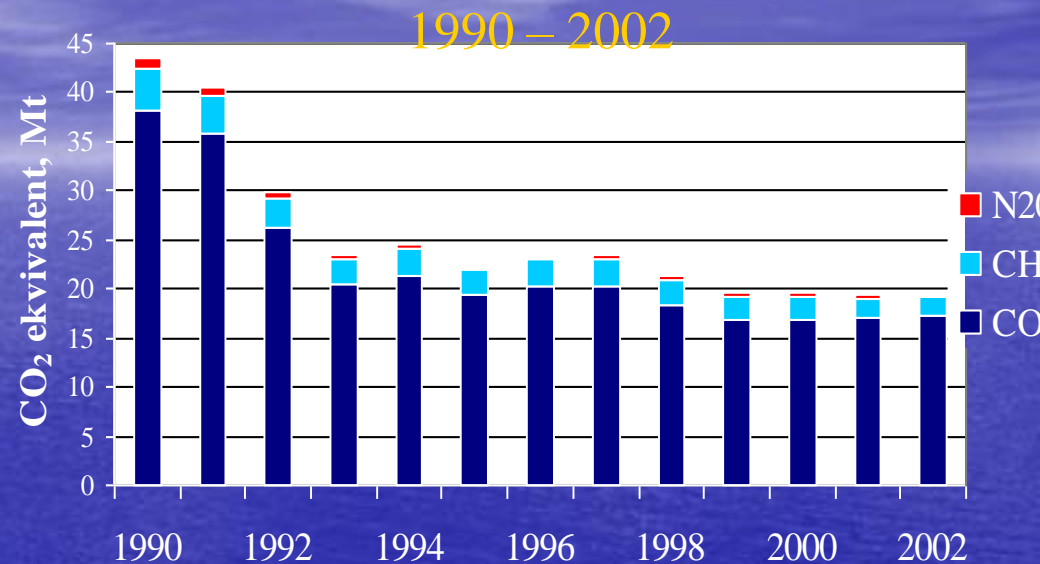


Eeldustest CO₂ emissiooni vähendamiseks Eesti põlevkivienergeetikas

Elektri tootmine Eestis 2003, %

Põlevkivi	92,15
Maagaas	4,97
Põlevkiviõli	0,32
Hüdroenergia	0,13
Tuul	0,06
Muud	2,18

Eesti kasvuhuonegaaside emissioonid



Põlevkivi põletamisega kaasnevad probleemid:

- **Kõrge CO₂ emissioon - mineraalse CO₂ osa ~ 17-19%.**

1 tonni põlevkivi põletamisel tekib ~ 0.9 - 0.91 t CO₂

- **Suur tuhasisaldus (42 – 48%)**

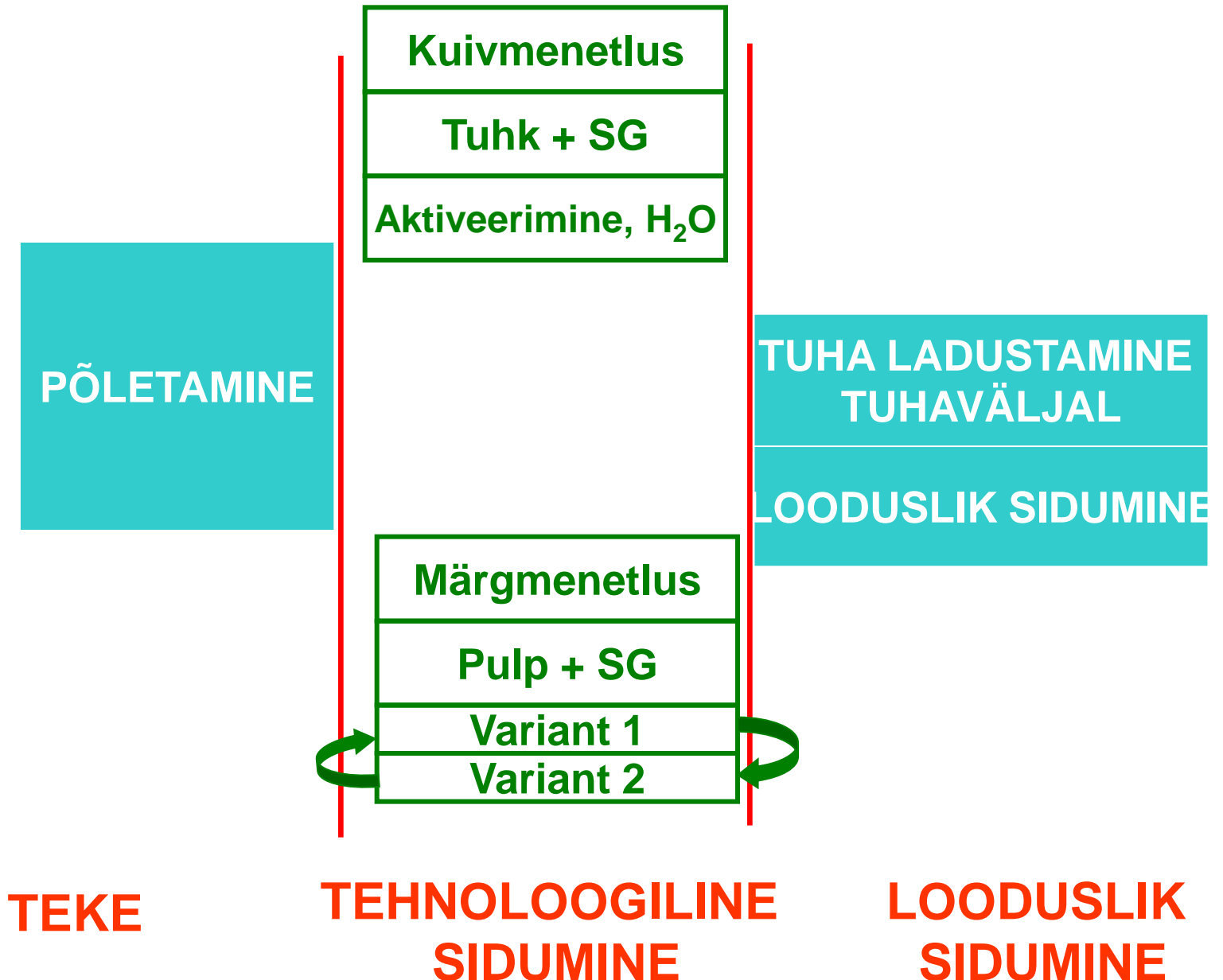
Tuhk sisaldab kuni 25-30% vabu Ca- ja Mg-oksiide, mis muudavad tuha ohtlikuks jäätmeks, sest transpordiveded ja ladustamisel tekkivad nõrgveed on tugevalt leeliselised (pH 13), lubatud pH loodusesse juhtimisel on aga 9.

CO₂ emissioonitegurid

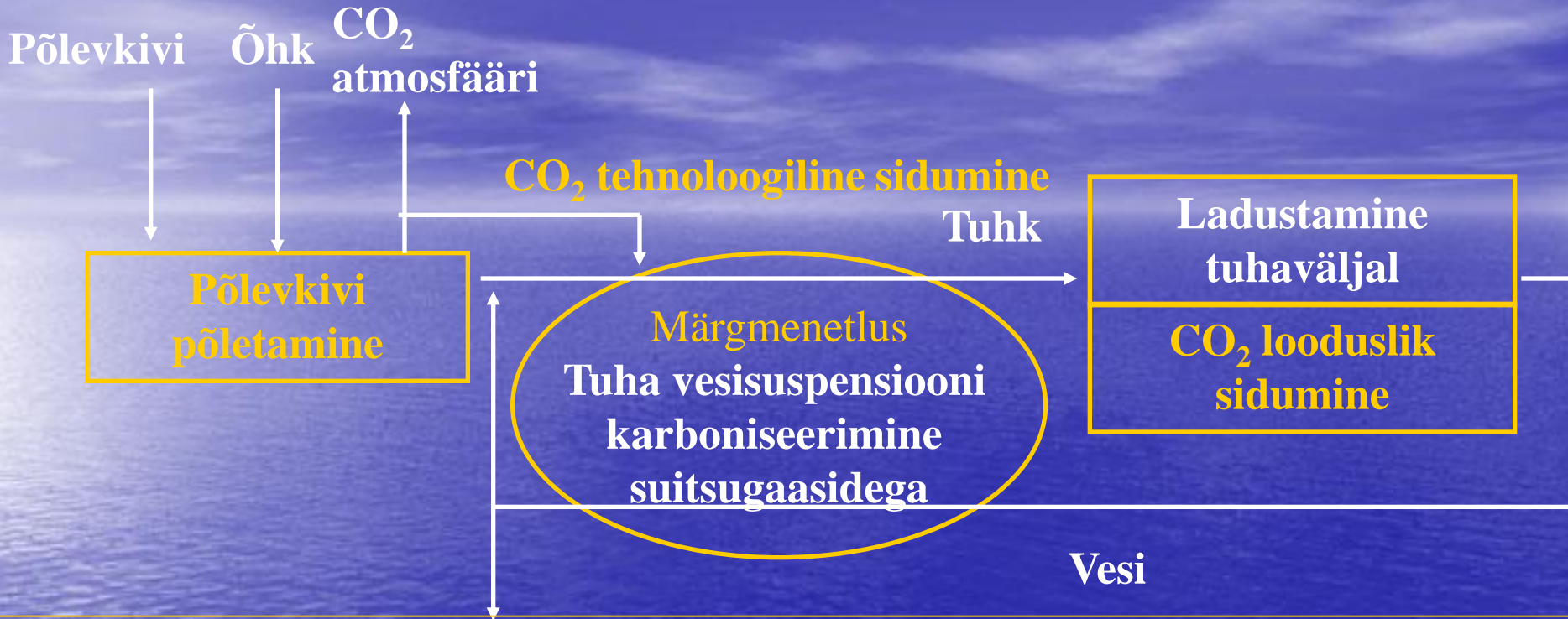
t CO₂/1 TJ kütuse kohta *(Landsberg, Liik)*

- Turvas 110
- Põlevkivi 106
- Kivisüsi 93
- Bensiin 74
- Maagaas 57

CO₂ emissiooni tehnoloogiline piiramine



CO₂ mineraliseerimine põlevkivienergeetikas



Eeldus:

- tuhas sisalduvad vabad **Ca- ja Mg** oksiidid ning -silikaadid võivad teatud tingimustel olla happeliste gaaside (SO₂ ja CO₂) sidujaks

Oodatavad on:

- **kaks keskkonnakaitseks tähtsat efekti** – vähenevad nii atmosfääri saastava CO₂ emissioon kui ka ladustatava tuha keskkonnoahtlikkus



Tulemused

Projekti töökorraldus ja tulemused

- Partnerite individualne töö
- Partnerite ühistöö
 - iga-aastased doktorikursused
 - doktoriseminarid koos juhtkomiteega
 - doktorantide "mobility"
 - osavõtt konverentside "Nordic Minisymposium on CO₂ Capture and Sequestration" tööst
 - osavõtt rahvusvahelise konverentside seeriast GHGT, CLEAN POWER, "Carbon Capture and Sequestration" tööst
 - ühispublikatsioonid

TTÜ publikatsioonid

Artiklid

Kuusik R., Türn L., Trikkel A., Uibu M. Carbon dioxide binding in the heterogeneous systems formed at combustion of oil shale. 2. Integrations of system components – thermodynamic analysis . *Oil Shale*. 2002. Vol. 19, No. 2. P. 143 – 160;

Kuusik R., Veskimäe H., Uibu M. Carbon dioxide binding in the heterogeneous systems formed at combustion of oil shale. 3. Transformations in the system suspension of ash – flue gases . *Oil Shale*. 2002. Vol. 19, No. 3. P. 277 – 288.

Kuusik, R., Paat, A., Veskimäe, H., Uibu, M. Transformations in Oil Shale Ash at Wet Deposition. *Oil Shale*. 2004. Vol. 21, No. 1. P. 27 – 42.

Defanas, G., Sitnikovas, D., Galinis, A., Kudrenickis, I., Klavs, G., Kuusik, R. Predicting CO₂ and SO₂ emission in the Baltic States through reorganization of energy infrastructure. // *Environment International*. 2004. Vol. 30, No. 8. P. 995-1197.

Kuusik, R., Uibu, M., Kirsimäe, K. Characterization of oil shale formed at industrial-seal CFBC boilers. *Oil Shale*. 2005. Vol. 22. No. 4 Special. P. 407-419.

Kuusik, R., Uibu, M., Toom, M., Muulmann, M.-L., Kaljuvee, T., Trikkel, A. Sulphation and carbonization of oil shale CFBC ashes in heterogeneous systems. *Oil Shale*. 2005. Vol. 22. No. 4

TTÜ publikatsioonid

Täispikad konverentsiettekanded

Uibu, M., Kuusik, R., Veskimäe, H. Abatement of CO₂ emission in Estonian energy sector // VI Intern. Symp. and Exhib. on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe and the Commonwealth of Independent States, Prague, Czech Republic, 14 Sept. 2003. Tallahassee, Florida State University. 2004. 5 p. on CD-ROM.

Kavaliauskaite, I., Uibu, M., Teir, S., Kuusik, R., Zevenhoven, R. and Denafas, G. Carbon dioxide long-term emissions and its storage options in the Baltic region. *Proc. ECOSUD 2005, 3 - 5 May 2005, Cadiz, Spain. WIT Transactions on Ecology and the Environment 2005. Vol 81. P 439-448.*

Kuusik R., Uibu M., Triikkel A. CO₂ emission in Estonia oil shale based energy sector – prospects for abatement by wet mineral carbonization. GHGT-8, 17-18 June 2006, Trondheim, Norway. 6p., accepted.

Kuusik R., Uibu M., Triikkel A. Kaljuvee T. Reuse of waste ashes formed at oil shale based power industry in Estonia. Waste Management -2006. 17-24 June 2006, Malta. 10p., accepted.

TTÜ publikatsioonid

Posterettekanded, teesid. I

Kuusik R., Kaljuvee T., Kulp I., Uibu M. Oil shale ashes as binders of acid gases .

Symposium on Oil Shale 2002: Abstracts. Tallinn, Estonia, 2002. P. 71 - 72.

Uibu M., Kuusik R. Põlevkivituha vesisuspensioonid CO₂ sidujana. = Carbon dioxide binding in the aqueous suspensions of oil shale ash. - P. 154 – 155. XXVIII Eesti

Keemiapäevad = 28th Estonian Chemistry Days: *Teaduskonv. ettek. teesid = Abstracts of Sci. Conf. Tln., 2002.*

The 2nd Nordic Minisymposium on CO₂ Capture and Storage = Trondheim, 2003. Poster presentation, 1p.

The 3d Nordic Minisymposium on CO₂ Capture and Storage =Cothenburg, 2004. Poster presentation, 1p.

Publikatsioonid

Posterettekanded, teesid. II

Kuusik R., Uibu M. Põlevkivituha vesisuspensioonid CO₂ sidujana. = Süsinikdioksiidi emissiooni piiramine energiatootmises – suundumused maailmas ja perspektiivid Eestis = Abatement of CO₂ emissions at energy production – trends in the world and prospects in Estonia. – P.51. XXVIII Eesti Keemiapäevad = 29th Estonian Chemistry Days: *Teaduskonv. ettek. teesid = Abstracts of Sci. Conf.* Tln., 2005.

Uibu M., M-L. Muulmann, Kuusik R. Põlevkivi tolmpõletus- ja keevkihttuhkade vesisuspensiooni karboniseerimine. = Wet carbonization of pulverized firing and circulating fluidized bed combustion oil shale. - P. 126. XXVIII Eesti Keemiapäevad = 29th Estonian Chemistry Days: *Teaduskonv. ettek. teesid = Abstracts of Sci. Conf.* Tln., 2005.

Uibu, M., Muulmann, M.-L., Kuusik, R. CO₂ wet mineralization by oil shale ash - reactivity of model compounds. The 4th Nordic Minisymposium on Carbon Dioxide Capture and

Storage, September 8-9, 2005, Otaniemi, Espoo; Program; [Abstracts] Helsinki, Soome, 2/29/2012

Helsinki University of Technology. 2005. Poster presentations. 1n

**Tallinna Tehnikaülikool tänab
Põhjamaade Energiauuringute
Fondi finantstoetuse eest,
kogu projekti partnerkonda
doktoriõppe mitmekülgse ning
tõhusa toetamise eest.**

Ka meeskond tänab!

