

# Otto Kaukoranta

Master's programme in  
Geoengineering

Vähähiilinen syvästabilointi ja  
hankintamenettelyt

27.11.2024 UUMA-vuosiseminaari



Aalto-yliopisto  
Aalto-universitetet  
Aalto University

Valvoja:

Leena Korkiala-Tanttu

Ohjaajat:

Juha Forsman

Liisa Taskila



# Taustaa: Globaalit ympäristövaikutukset – CO<sub>2</sub>-päästöt

- Syvästabiloinnissa sideaineiden osuus voi olla jopa yli 90 % CO<sub>2</sub>-päästöistä (Kivi, 2022)
- Vähähiilisillä pilari- ja massastabiloinnin uusiosideaineilla voidaan vähentää CO<sub>2</sub>-päästöistä jopa 70–80 % verrattuna perinteisiin sideaineisiin (Kivi, 2022)

*Kivi 2022. Pohjanvahvistusmenetelmät Suomessa, Käyttömäärät ja hiilijalanjälki. DI-työ.*



# Sisällys

Esipuhe .....	7
Symbolit ja lyhenteet.....	8
1 Johdanto .....	9
2 Pilaristabilointimenetelmä .....	11
2.1 Pilaristabilointi pohjanvahvistuksena.....	11
2.2 Syvästabiloinnissa käytettäviä sideaineita.....	13
2.3 Syvästabiloinnin päästöt ja päästökertoimet.....	16
2.4 Syvästabiloinnin toteuttaminen.....	17
2.5 Syvästabiloinnin mitoitus ja laadunvarmistus .....	17
3 Vähähiilinen syvästabilointi.....	19
3.1 Vähähiilinen betoni .....	19
3.2 Syvästabiloinnin CO <sub>2</sub> e-tunnusluvut .....	21
3.3 Syvästabiloinnin sideaineen vähähiilisyyssuokitus (SSV) .....	23
3.4 Stabilointipilarien vähähiilisyyssuokitus (SPV).....	24
4 Syvästabiloinnin hankinta.....	27
4.1 Hankintamenettely .....	27
4.1.1 Tilaajan sideaineresepti (1. malli).....	27
4.1.2 Urakoitsijan sideaineresepti (2. malli) .....	27
4.1.3 Suunnitelte ja toteuta malli (3. malli).....	28
4.1.4 Hankintamallit ja SSV-luokitus .....	28
4.2 Hankintalaki.....	29
4.3 Kansainväliset menettelyt.....	30
4.4 Markkinavuoropuhelu .....	31
5 Malminkentän koestabilointi.....	34
5.1 Rakennuskohde .....	34
5.2 Maaperätiedot .....	36
5.3 Koestabilointi.....	38
5.4 Koestabiloinnin sideaineseokset .....	39
5.5 Malminkentän koestabiloinnin CO <sub>2</sub> e-tunnusluvut.....	40
6 Stabilointipilarien ylös nosto .....	47
6.1 Aiemmat kokemukset.....	47

6.2 Pilarien nosto, Malminkenttä.....	49
6.3 Tutkitut pilarit.....	51
6.4 Nostetuille pilareille suoritettut tutkimukset .....	53
7 SSV-menettelyn testaaminen kahdessa Malminkentän kohteessa .....	55
7.1 Kohdetarkastelu, Tattariharjuntie .....	55
7.2 Kohdetarkastelu, Malminkenttä, pohjoinen ajoyhteys.....	57
7.3 SSV- ja SPV-luokittelun yhdistäminen.....	67
7.4 SSV ja SPV-luokituksen käytön riskitarkastelu .....	68
8 Yhteenveto .....	72
Lähteet.....	73
Liitteet.....	80
Liite 1. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden PS1, 90d.....	80
Liite 2. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden PS1, 12kk .....	88
Liite 3. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden PS4, 90d .....	96
Liite 4. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden PS4, 12kk .....	104
Liite 5. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden, PS6, 90d .....	112
Liite 6. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden, PS6, 12kk .....	120
Liite 7. Malminkenttä, penetrometritulokset .....	125
Liite 8. Pohjoinen ajoyhteys, sideainemäärien ekstrapolointilaskelmat.....	134

”Vähähiilinen syvästabilointi ja hankintamenettelyt”  
Otto Kaukoranta  
DI-työ

# Sisällys

Esipuhe .....	7
Symbolit ja lyhenteet.....	8
1 Johdanto .....	9
2 Pilaristabilointimenetelmä .....	11
2.1 Pilaristabilointi pohjanvahvistuksena.....	11
2.2 Syvästabiloinnissa käytettäviä sideaineita.....	13
2.3 Syvästabiloinnin päästöt ja päästökertoimet.....	16
2.4 Syvästabiloinnin toteuttaminen.....	17
2.5 Syvästabiloinnin mitoitus ja laadunvarmistus .....	17
3 Vähähiilinen syvästabilointi.....	19
3.1 Vähähiilinen betoni .....	19
3.2 Syvästabiloinnin CO <sub>2</sub> e-tunnusluvut .....	21
3.3 Syvästabiloinnin sideaineen vähähiilisyyssuokitus (SSV) .....	23
3.4 Stabilointipilarien vähähiilisyyssuokitus (SPV).....	24
4 Syvästabiloinnin hankinta.....	27
4.1 Hankintamenettely .....	27
4.1.1 Tilaajan sideaineresepti (1. malli).....	27
4.1.2 Urakoitsijan sideaineresepti (2. malli) .....	27
4.1.3 Suunnittele ja toteuta malli (3. malli).....	28
4.1.4 Hankintamallit ja SSV-luokitus .....	28
4.2 Hankintalaki.....	29
4.3 Kansainväliset menettelyt.....	30
4.4 Markkinavuoropuhelu .....	31
5 Malminkentän koestabilointi.....	34
5.1 Rakennuskohde .....	34
5.2 Maaperätiedot .....	36
5.3 Koestabilointi.....	38
5.4 Koestabiloinnin sideaineseokset .....	39
5.5 Malminkentän koestabiloinnin CO <sub>2</sub> e-tunnusluvut.....	40
6 Stabilointipilarien ylös nosto .....	47
6.1 Aiemmat kokemukset.....	47

6.2 Pilarien nosto, Malminkenttä.....	49
6.3 Tutkitut pilarit.....	51
6.4 Nostetuille pilareille suoritettut tutkimukset .....	53
7 SSV-menettelyn testaaminen kahdessa Malminkentän kohteessa .....	55
7.1 Kohdetarkastelu, Tattariharjuntie .....	55
7.2 Kohdetarkastelu, Malminkenttä, pohjoinen ajoyhteys.....	57
7.3 SSV- ja SPV-luokittelun yhdistäminen.....	67
7.4 SSV ja SPV-luokituksen käytön riskitarkastelu .....	68
8 Yhteenvedo .....	72
Lähteet.....	73
Liitteet.....	80
Liite 1. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden PS1, 90d.....	80
Liite 2. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden PS1, 12kk .....	88
Liite 3. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden PS4, 90d .....	96
Liite 4. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden PS4, 12kk .....	104
Liite 5. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden, PS6, 90d .....	112
Liite 6. Malminkenttä, päästöt saavutettua lujuutta kohden, PS6, 12kk .....	120
Liite 7. Malminkenttä, penetrometritulokset .....	125
Liite 8. Pohjoinen ajoyhteys, sideainemäärien ekstrapolointilaskelmat.....	134

”Vähähiilinen syvästabilointi ja hankintamenettelyt”  
Otto Kaukoranta  
DI-työ

# Malminkenttä, koepilareiden nosto

- **Nostettiin 7 pilaria**
  - 5 teräsputkella
  - 2 kaivinkoneella
- **Pilareille tehtiin kenttämittauksia**
  - Penetrometri
  - pH ja redox (myös pilarin ympäriltä)
  - XRF
  - Näytteenotto



Kuva 20 Nostetut pilarit: a) CEMIII/B, b) Kaukaan voima LT+CEMII, c) Terra GREEN, d) Terra POZ, e) Terra GTC, f) CEMIII/A ja g) UPM LT+CEMII. (valokuvat Otto Kaukoranta 4.9.-12.10.2023).

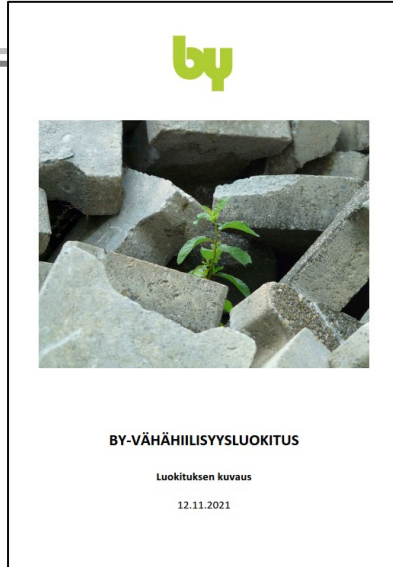
# UUMA3 (2018-2020)



2017



# UUMA4 (2021-23)



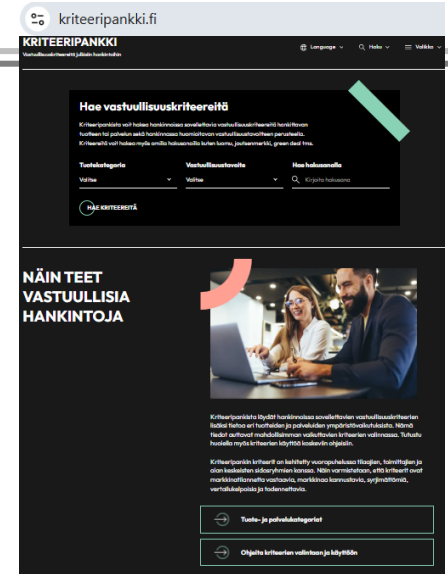
2021



2023



# UUMA5 (2024-26)



2025

Koe- / Tuotantostabilointikohteita, joissa on tutkittu uusiosideaineiden käyttämistä ja/tai hankintaa

Kuninkaantammi  
Helsinki 2020

Topinpuisto  
Turku 2021

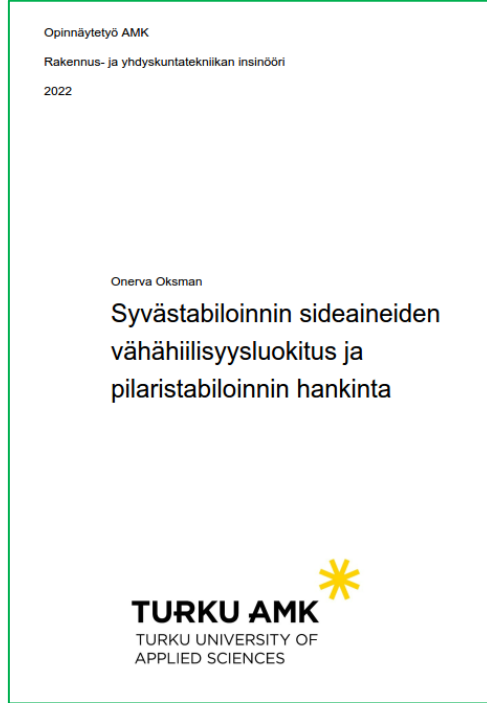
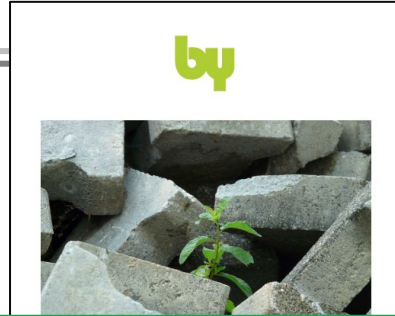
Malminkenttä  
Helsinki 2022

Lauttaranta  
Turku 2024

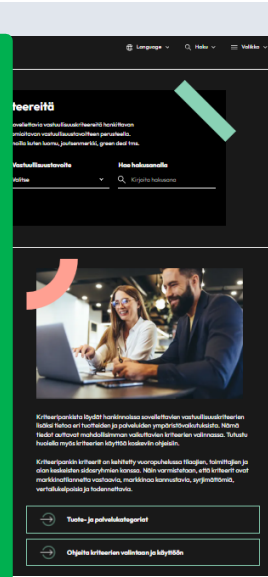
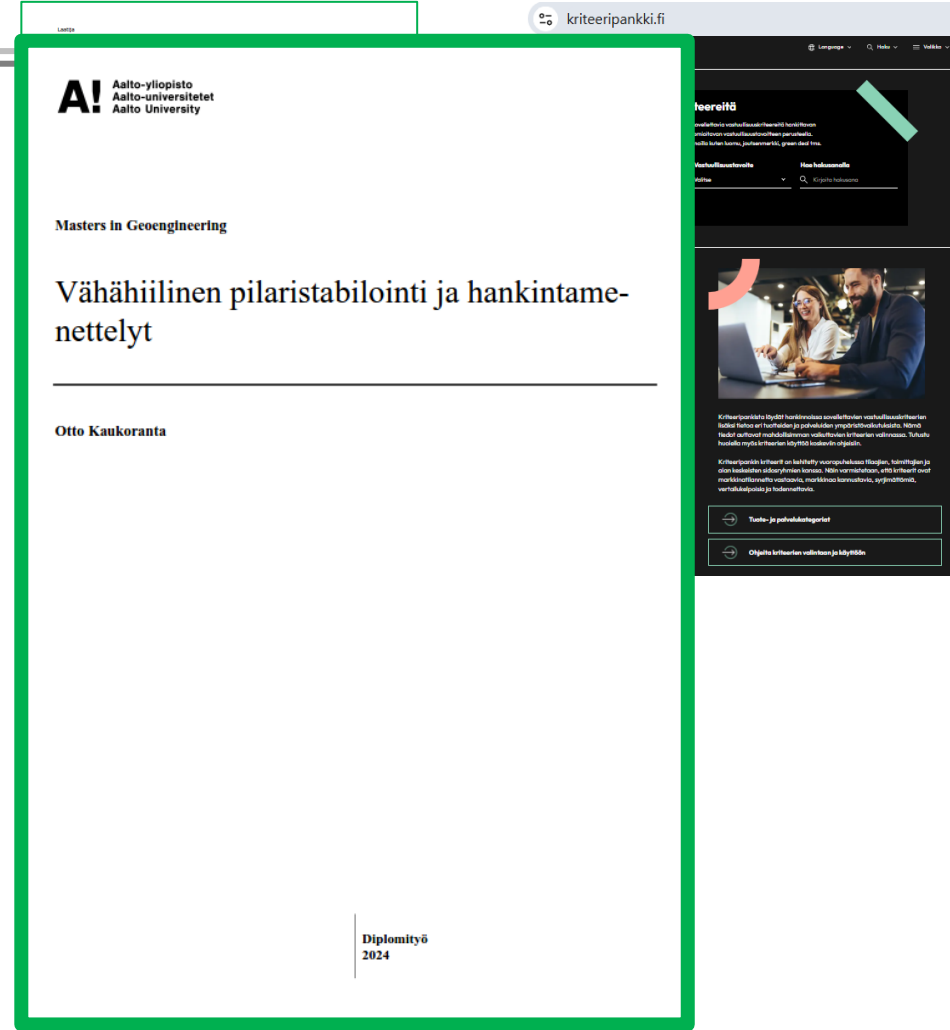
# UUMA3 (2018-2020)



# UUMA4 (2021-23)

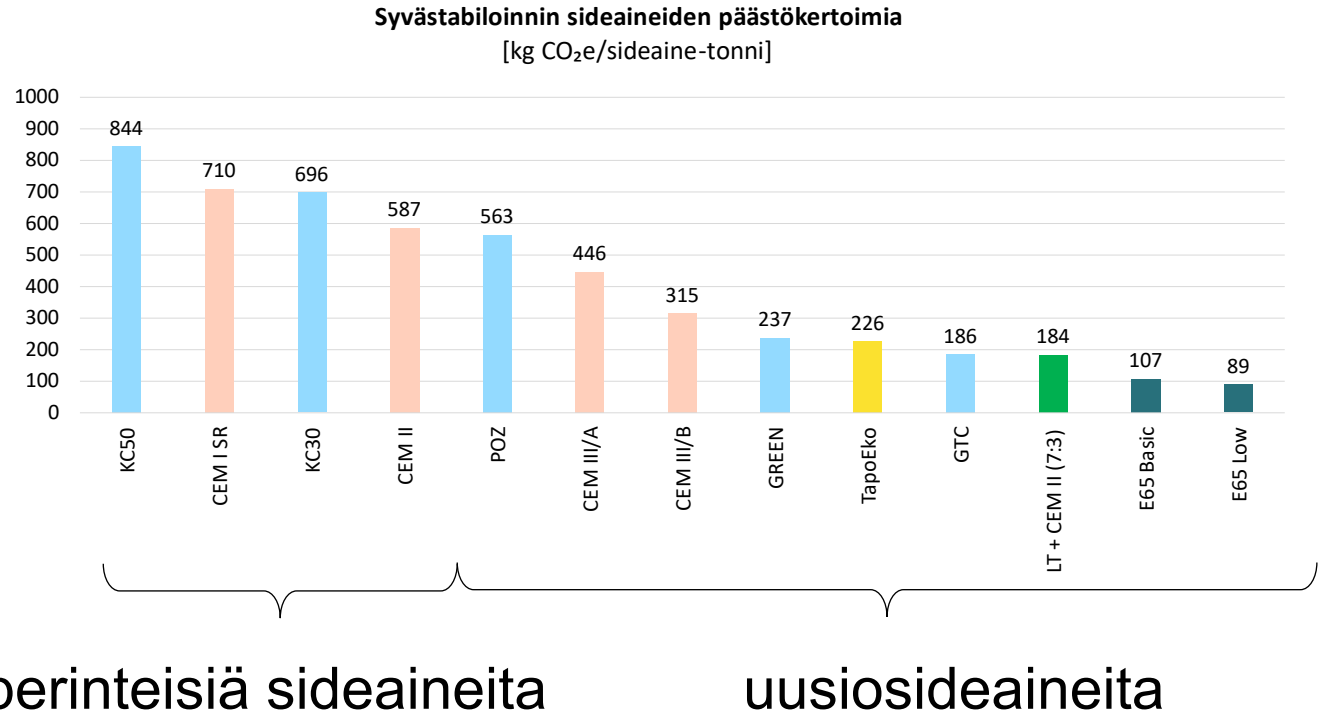


# UUMA5 (2024-26)



# Vähähiilinen syvästabilointi, tunnuslukuja

- Sideaineen valmistuksen päästökerroin ( $\text{kg CO}_2\text{e} / \text{t}$ ), sisältää vaiheet A1-A3
- Päästökerroin / pilarin lujuus => Päästöt saavutettua lujuutta kohden ( $\text{kg CO}_2\text{e} / \text{kPa} / \text{m}$ )
- Helpottaa sideaineiden vertailua
- Ei vertaudu suoraan päästökertoimien kanssa ( $\text{kg CO}_2\text{e}/\text{kg}$ )





# Vähähiilisyysluokitukset

- Luotu UUMA4-ohjelmassa koekäyttöön
- Erilliset luokitukset:
  - Syvästabiloinnin sideaineet
    - (kg CO<sub>2</sub>e / t)
  - Stabilointipilarit
    - (kg CO<sub>2</sub>e / m-pilari)
  - Massastabilointi (ei käsitelty työssä)
    - (kg CO<sub>2</sub>e / m<sup>3</sup>-stabiloitava maa)
- Luotu edistämään vähähiilisten sideaineiden hankintamenettelyä
- Ohje saatavilla:
- Syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokitus - opas - Uusiomaarakentaminen

## UUMA4-ohjelma

Asiakirjatyyppi

**Opas**

Päivämäärä

**20.12.2023**, koekäyttöön

## Syvästabiloinnin sideaineiden vähähiilisyysluokitus

SSV.1	≤ 100
SSV.2	≤ 200
SSV.3	≤ 300
SSV.4	≤ 400
SSV.5	≤ 500
SSV.7	≤ 700
SSV.9	≤ 900

# SSV = Syvästabiloinnin Sideaineiden Vähähiilisyysluokitus

- Luokittelee sideaineet päästökertoimien perusteella luokkiin SSV.1 – SSV.9
- Yksikkö: kg CO<sub>2</sub>e / t
- Sisältää EPD-modulit A1-A4
  - Raaka-aineet
  - Kuljetus valmistukseen
  - Valmistus
  - Kuljetus työmaalle

SSV-luokka	SSV-luokkaa vastaava päästökerroin, joka sisältää sideaineen valmistuksen ja työmaalle kuljetuksen päästöt A1-A4 [kg CO <sub>2</sub> e / t]
SSV.1	≤ 100
SSV.2	≤ 200
SSV.3	≤ 300
SSV.4	≤ 400
SSV.5	≤ 500
SSV.7	≤ 700
SSV.9	≤ 900

## SSV = Syvästabiloinnin Sideaineiden Vähähiilisyysluokitus

- Luokittelee sideaineet päästökertoimien perusteella luokkiin SSV.1 – SSV.9
- Yksikkö: kg CO<sub>2</sub>e / t
- Sisältää EPD-modulit A1-A4
  - Raaka-aineet
  - Kuljetus valmistukseen
  - Valmistus
  - Kuljetus työmaalle

SSV-luokka	SSV-luokkaa vastaava päästökerroin, joka sisältää sideaineen valmistuksen ja työmaalle kuljetuksen päästöt A1-A4 [kg CO <sub>2</sub> e / t]
SSV.1	≤ 100
SSV.2	≤ 200
SSV.3	≤ 300
SSV.4	≤ 400
SSV.5	≤ 500
SSV.7	≤ 700
SSV.9	≤ 900

## SPV = SyvästabilointiPilareiden Vähähiilisyysluokitus

- Luokittelee pilarien päästöt pilarimetriä kohden luokkiin SPV3 - SPV26
- Yksikkö: kg CO<sub>2</sub>e / m-pilari
- Sisältää EPD-modulit A1-A4

SPV-luokka	SPV-luokkaa vastaava CO <sub>2</sub> -päästö, joka sisältää sideaineen valmistuksen ja työmaalle kuljetuksen päästöt A1-A4 pilarimetriä [kg CO <sub>2</sub> e / m-pilari]				
	D [m]	0,5 m	0,6 m	0,7 m	0,8 m
SPV3		≤ 2,1	≤ 3,0	≤ 4,1	≤ 5,4
SPV6		≤ 4,2	≤ 6,0	≤ 8,2	≤ 10,7
SPV9		≤ 5,9	≤ 8,5	≤ 12,0	≤ 15
SPV12		≤ 7,9	≤ 11,5	≤ 16	≤ 20
SPV15		≤ 10,4	≤ 15	≤ 21	≤ 27
SPV20		≤ 13,8	≤ 20	≤ 28	≤ 36
SPV25		≤ 18	≤ 25	≤ 35	≤ 45

# Hankintamenettelyt ja SSV-luokitus

- **Tilaaajan sideaineresepti** (vastaa osin nykyistä suomalaista käytäntöä)
  - Tilaaaja määrittää sideainereseptin omien ilmastotavoitteidensa perusteella
  - Urakoitsija voi ehdottaa vaihtoehtoisia sideainereseptiä tilaaajan määrittämien SSV- ja SPV-luokkien mukaisesti
- **Urakoitsijan sideaineresepti** (vastaa osin kansainvälistä käytäntöä)
  - Tilaaaja määrittää SSV- ja/tai SPV-luokan
  - Urakoitsija määrittää sideainereseptin annetun luokan perusteella
  - Mahdollistaa erilaisten sideainereseptien tarjoamisen
- **Suunnittele ja toteuta** (vastaa osin nykyistä suomalaista ja kansainvälistä käytäntöä)
  - Tilaaaja määrittää tekniset vaatimukset SSV- ja/tai SPV-luokan
  - Urakoitsija määrittää sideainereseptin annetun luokan perusteella
  - Mahdollistaa erilaisten sideainereseptien ja työtekniikoiden tarjoamisen

# Esimerkkitarkastelu: Malminkenttä, Pohjoinen ajoyhteys

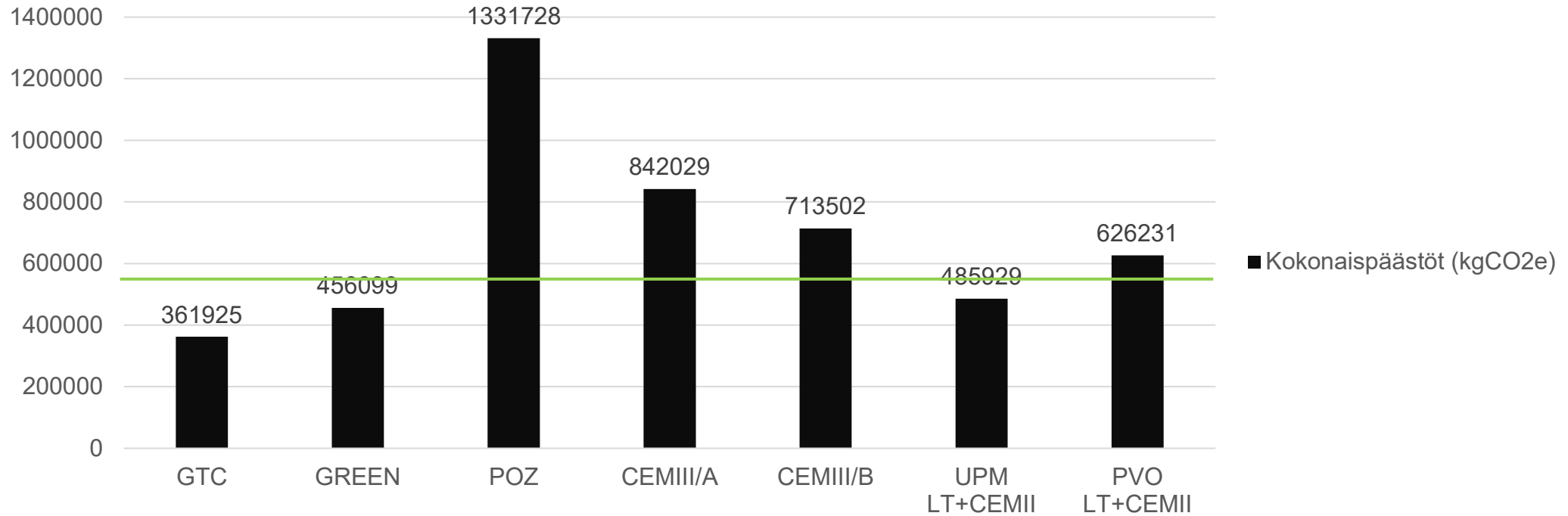
- Tarkastelu perustuu laadunvalvontakairaustuloksiin koestabilointikentiltä PS1 ja PS4 (2022)
- Sideainemäärät optimoitiin tarkastelua varten valvontakairaustulosten perusteella (1, 3 ja 12 kk)
- Kokonaispäästöt laskettiin sideainereseptien päästökertoimien ja kokonaispilarimetrien perusteella
- Pilarimetrit 60 400 m



# Sideainemäärien optimointi, Pohjoinen ajoyhteys

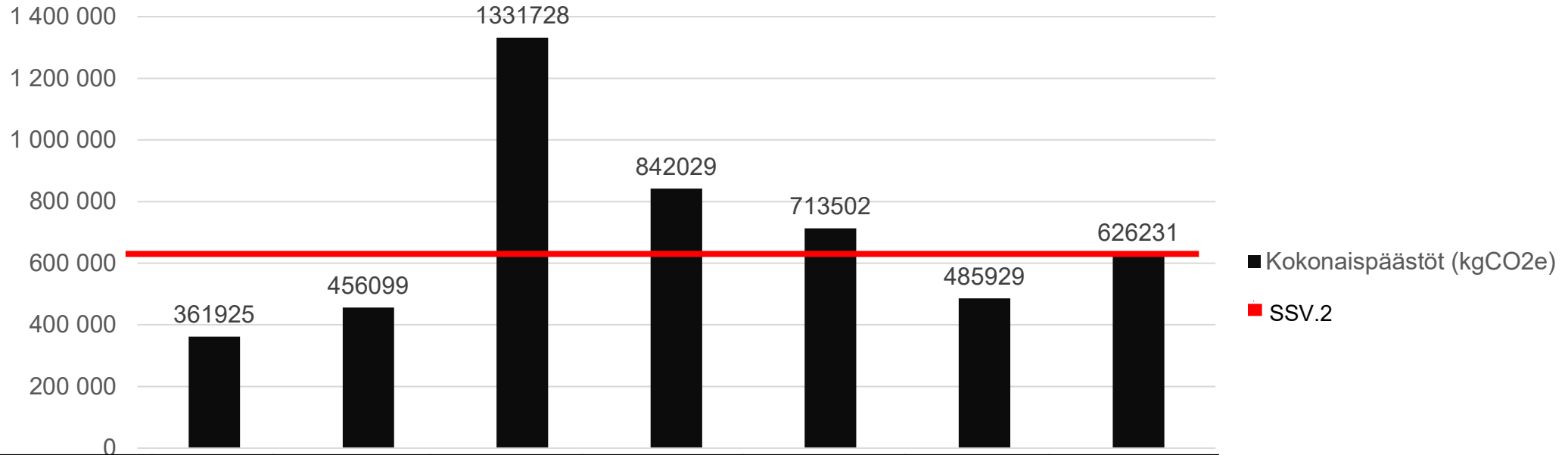
- **Tarkastelussa profiilipilarit** (helpommin lujittuvaa savea syvemmällä)
  - Ylin osa 2 m
  - Keskimäinen osa 2,5 m
  - Alin osa 4,5 m
- **Saavutettu lujuus määritettiin jokaiselle kerrokselle “varovaisena” keskiarvona**
- **Pienen ja ison sideainemäärän lujuuden perusteella muodostettiin “sideainemäärän muutos kilopascalia kohden” –tunnusluku => Määritettiin sideainemäärä, jolla saavutetaan leikkauslujuus 110 kPa**

# Esimerkkitarjonta: Pohjoinen ajoyhteys



Työselostuksen perusteella muodostettiin vertailuarvo (556 791 kg CO<sub>2</sub>e)

# Esimerkkitarjastelu, Pohjoinen ajoyhteys



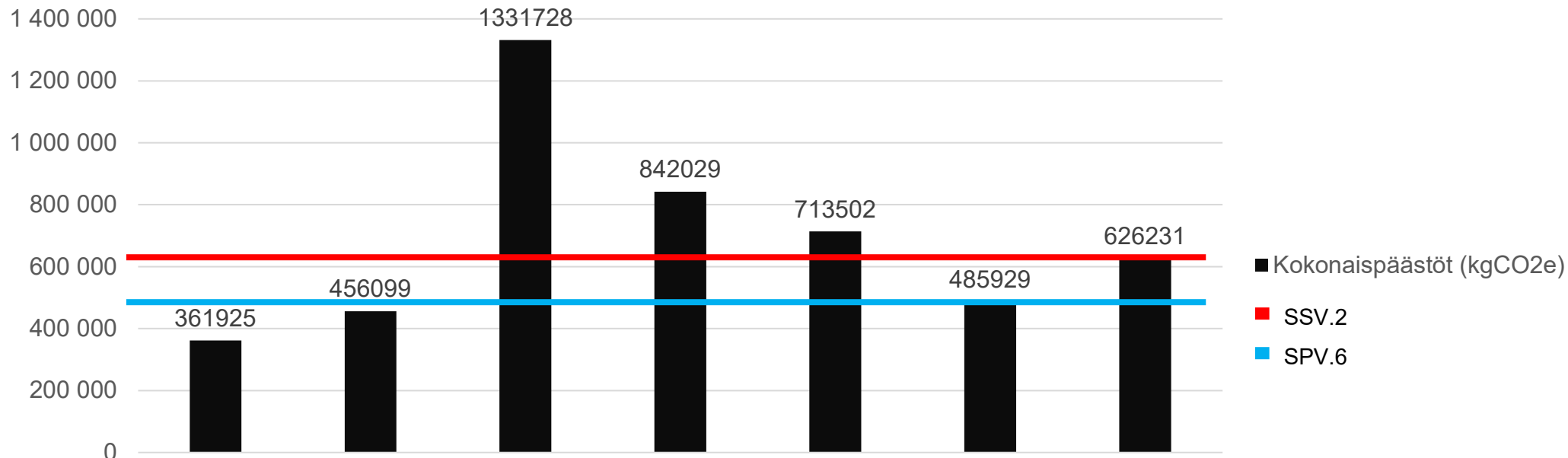
■ Kokonaispäästöt (kgCO2e)

■ SSV.2

SSV.	2	3	7	5	4	2	2
------	---	---	---	---	---	---	---



# Esimerkkitarjastelu: Pohjoinen ajoyhteys



- Kokonaispäästöt (kgCO2e)
- SSV.2
- SPV.6

Sideaine	GTC	GREEN	POZ	CEMIII/A	CEMIII/B	UPM LT+CEMII	PVO LT+CEMII
SSV.	2	3	7	5	4	2	2
SPV.	6	6	20	12	9	6	9

# Kiitos

Työ saatavilla:

<https://uusiomaarakentaminen.fi/aineisto/diplomityo-otto-kaikuranta-aalto-yliopisto-2024/>