



Sarpsborg Kommune, MOVAR IKS og Halden kommune

Måling og evaluering af metanemission fra de tre deponier Rokke, Gatedalen og Solgård

Rapport 120-32463
Målinger udført november 2021 og maj 2022
Projektleder: Jacob Mønster

Underskriftsberettiget

Prøvningsrapporten er kun gyldig med signatur fra FORCE Technology. Rapporten forefindes som original i FORCE Technologys database og sendes som elektronisk duplikat til kunden. Den hos FORCE Technology lagrede original har forrang som dokumentation for rapportens indhold og gyldighed. Prøvningsrapporten må kun gengives i uddrag med tilladelse fra FORCE Technology.



Kontakt:
Clean Air Technologies
Projektleder Jacob Mønster
Direkte tlf.
Mobil: 42 62 76 11
E-mail: jmn@forcetechnology.com

FORCE Technology
Park Allé 345
2605 Brøndby, Danmark
+45 43 25 00 00
+45 43 25 00 10
info@forcetechnology.dk
www.forcetechnology.com



Resumé

FORCE Technology og Danmarks Tekniske Universitet har i november 2021 og maj 2022 målt emission af metan fra de tre deponier Rokke, Gatedalen og Solgård. Den totale emission fra deponierne blev målt ved hjælp af den dynamiske sporgasmetode. Deponiet blev screenet på alle farbare veje på og omkring deponiet. Sporgas-/metanforholdet i de målte faner resulterede i en totalemission på imellem 8,6 og 16,2 kg time⁻¹ fra Rokke deponi, på imellem 5,9 og 15,4 kg time⁻¹ fra Gatedalen deponi og på imellem 9,1 og 21,0 kg time⁻¹ fra Solgård deponi.

Håndholdte og mobile overfladescreeninger viste at der primært kom metan fra perkolatbrønde og andre boreriger men at der også enkelte steder kom metan fra deponiernes overflader.

Målingerne blev udført under relative stabile atmosfæriske forhold, men det blev forsøgt at lave de to målekampagner under forskellige forhold, for at få mere information om variationen af metanemissionen fra de tre deponier.

Sammenligning imellem målingerne den teoretiske metanproduktion for Rokke og Gatedalen viser at de emitteres mere end der teoretisk produceres. Det er derfor ikke muligt at sige noget om deponigaspotentialer for Rokke og gatedalen, udover den metan der bliver emitteret. Solgård har bedre affaldsindformation og modelleringen af den teoretiske metanproduktion viser en metanindvinding imellem ca. 90% og 50% af det producerede metan.

For alle tre deponier gælder det, at det ikke vurderes at yderligere gasindvinding vil være en klimamæssig og økonomisk attraktiv vej at gå for at minimere emissionen af metan. Det vurderes at der først skal foretages udbedringer, hvorefter opfølgende undersøgelser kan vurdere om der er brug for konstruktion af et eller flere biocoverer på deponierne vil kunne minimere den tilbageværende emissionen af metan.

Indholdsfortegnelse

Resumé.....	2
1 Indledning	4
2 Formål.....	4
3 Metode	4
3.1 Modellering af deponigaspotentialer	4
3.2 Beskrivelse af målekampagner	5
3.3 Sporgasmåling af total metanemission	5
3.4 Overfladescreening.....	7
4 Resultater	9
4.1 Gatedalen Miljøanlæg	9
4.1.1 Modellering af teoretisk metanproduktion.....	9
4.1.2 Mobil screening for metanudslip samt måling af den totale emission.....	10
4.1.3 Overfladescreening	15
4.1.4 Sammenfatning af måleresultater fra Gatedalen deponi	18
4.1.5 Forslag til tiltag for at minimere metanemission fra Gatedalen deponi.....	18
4.1.5.1 Detaljeret forslag til tiltag med tilhørende prisoverslag	18
4.2 Rokke Affaldsanlæg.....	20
4.2.1 Modellering af teoretisk metanproduktion.....	21
4.2.2 Mobil screening for metanudslip samt måling af den totale emission.....	21
4.2.3 Overfladescreening	25
4.2.4 Sammenfatning af resultater fra Rokke deponi	30
4.2.5 Forslag til tiltag for at minimere metanemission fra Rokke deponi.....	30
4.2.5.1 Detaljeret forslag til tiltag med tilhørende prisoverslag	30
4.3 Solgård Affaldsplads – MOVAR IKS	33
4.3.1 Modellering af teoretisk metanproduktion.....	33
4.3.2 Mobil screening for metanudslip samt måling af den totale emission.....	34
4.3.3 Overfladescreening	38
4.3.4 Sammenfatning af resultater fra Solgård deponi	44
4.3.5 Forslag til tiltag for at minimere metanemission fra Solgård deponi.....	44
4.3.5.1 Detaljeret forslag til tiltag med tilhørende prisoverslag	44
5 Referencer	47
Bilag A Effekten af atmosfæriske forhold	48

1 Indledning

FORCE Technology og Danmarks Tekniske Universitet har i november 2021 og maj 2022 udført måling af metanemission til luften fra Rokke, Gatedalen og Solgård deponi, samt beregnet den teoretiske dannelse af deponigas ud fra oplysninger om affaldsmængde, type og hvornår det er deponeret.

Rekvirent: Sarpsborg Kommune, igennem Klimasats-projekt i samarbejde mellem Sarpsborg Kommune, MOVAR IKS, Halden kommune og Klima Østfold. Signe Bergum (Sarpsborg kommune) er projektleder for projektet.

Adresser:

Gatedalen miljøanlegg: Statsminister Torps vei 60, Sarpsborg

Rokke Avfallsanlegg: Nordbyveien 507, Rokke

Solgård Avfallsplass: Industriveien 81, Moss

Målingerne er udført af: Jacob Mønster (FORCE) og Anders Fredenslund (DTU)

Rapporten er udarbejdet af: Jacob Mønster, Anders Fredenslund samt Per Haugsted Petersen (Rambøll)

Resultatet af målingerne gælder for deponiet i den aktuelle måleperiode under de aktuelle forhold.

2 Formål

Formålet med undersøgelsen er at kvantificere den totale metanemission fra deponierne, identificere eventuelle emissioner samt beregne den teoretiske deponigas produktion samt tilbageværende deponigaspotentialer. Målinger og observationer samt information fra deponierne bruges derefter til at foreslå hvilke tiltag, der kan minimere emissionen af metan til atmosfæren samt pris for disse tiltag.

3 Metode

Til løsning af opgaven bruges tre trin:

- 1) Teoretisk beregning af metanproduktion og tilbageværende deponigaspotentialer.
- 2) Mobil screening samt totalmåling af emission
- 3) Overflade screening med håndholdt udstyr

Resultaterne sammenholdes og bruges til at komme med forslag til hvordan emissionen af metan til atmosfæren kan mindskes. Den totale emission af metan kvantificeres med brug af en sporgas metode, som indeholder en mobil screening af det målte deponi. Metoden har været brugt af Danmark Tekniske Universitet siden 2011 og af FORCE Technology siden 2015. FORCE Technology udfører målingen akkrediteret.

3.1 Modellering af deponigaspotentialer

En fremgangsmåde for at evaluere mulighederne for håndtering af metan fra deponier er at beregne den teoretiske metanproduktion eller potentialer for tilbageværende deponigas. Denne beregning kan sammenlignes den med eventuelt opsamlet metan samt den målte emission.

Deponigaspotentialer beregnes ud fra kendskab til hvornår affaldet er deponeret samt hvor meget affald der er samt hvilken slags affald der er deponeret. For at sådanne beregninger giver mening skal man have gode informationer om det deponerede affald. Af de tre undersøgte deponier er det kun Solgård deponi, der har detaljeret affaldsinformation til at beregne et teoretisk deponigaspotentialer. Beregningerne for de to andre deponier er lavet med meget sparsomt information om affaldet og er resultatet er derfor meget usikkert. Til modelleringen af metandannelse/deponigaspotentialer bruges modellen Afvalzorg, 2022 version. Denne model har input af flere forskellige affaldsfraktioner og er designet til at passe til nordeuropæisk affald. Det beregnede potentialer/dannelse sammenholdes med den indvundne deponigas samt emissionen til atmosfæren.

3.2 Beskrivelse af målekampagner

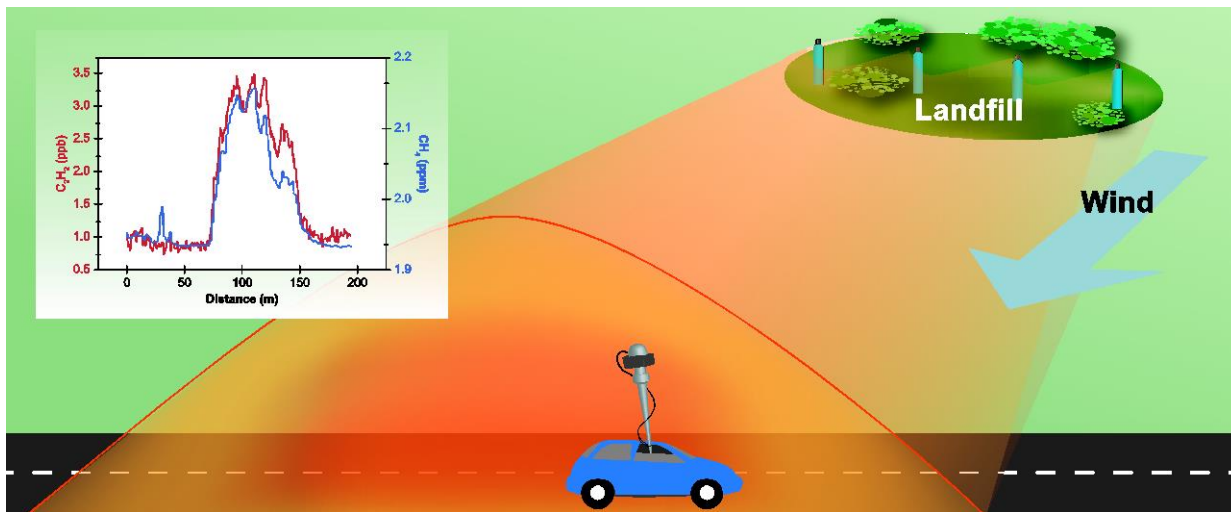
Tabel 1 viser en oversigt over hvilke datoer der blev foretaget screeninger og totalmålinger på de forskellige deponier. Gatedalen og Solgård blev målt to gange i november 2021. På Gatedalen var der ingen gasopsamling på den første måledag, og der blev derfor udført endnu en måling to dage senere hvor der var gasopsamling. På Solgård svag vind den første måling, så en ekstra måling blev lavet to dage senere for at være sikker på at have gode målinger. Den efterfølgende databehandling viste dog at målingen på førstedagen overholdt alle kvalitetsparametre for at være en valid måling.

Tabel 1. Oversigt over udførte målinger på de tre deponier.

Deponi	Totalmåling	Screening
Rokke	23. nov 2021 12. maj 2022	23. nov 2021 12. maj 2022
Gatedalen	22.+24. nov 2021 12. maj 2022	22.+24. nov 2021 11.+12. maj 2022
Solgård	22.+24. nov 2021 11. maj 2022	22. nov 2021 11. maj 2022

3.3 Sporgasmåling af total metanemission

Udledningen af metan fra deponier er meget heterogen, både mht. tid og sted, hvilket gør det vanskeligt at kvantificere størrelsen af udledningen. Dette kompliceres yderligere af, at deponier ofte er relative store. En af de mest anerkendte metoder til at overkomme disse udfordringer kaldes den dynamiske fanemetode (Scheutz et al., 2011; Mønster et al., 2014). Teorien bag den dynamiske fanemetode er, at gasser med lang atmosfærisk levetid vil opblandes og transporteres på samme måde i atmosfæren. Ved den forudsætning kan man udlede en kendt mængde af en sporgas samme sted som metankilderne på et deponi og efterfølgende måle koncentrationen af sporgas og metan så langt fra kilderne i vindens retning, at deponiet kan betragtes som en punktkilde. Forholdet mellem koncentrationen af metan og sporgas på målestedet vil være det samme som forholdet mellem udledningen af sporstof og metanemissionen. Princippet bag den dynamiske sporgasmetode er illustreret i Figur 1, og er gældende for alle metankilder, der emitterer nok metan til, at man kan måle koncentrationsforskellen langt fra kilden (f.eks. biogasproduktion i rådnetanke (Yoshida et al., 2014)). Metoden har været brugt til måling af metan fra flere Danske deponier (Mønster et al., 2015).



Figur 1. Skematisk oversigt af den dynamiske sporgasmetode ved måling af metan fra et deponi. Billedet er fra Jacob Mønsters Ph.d. afhandling udgivet på DTU, 2015.

Koncentrationen af metan i nedvindsfanen er ofte imellem 10 og 100 ppb over baggrundkoncentration (typisk imellem 1.8 og 2.0 ppm), og for at kunne måle denne relative lille koncentrationsændring kræves yderst fintfølelse analytiske instrumenter. FORCE Technology bruger et metan-/acetylen- analyseinstrument mrk. Picarro, som kan måle disse meget små koncentrationsforskelle. Den geografiske position under målingerne måles med en GPS med høj præcision. Der måles indledningsvist på og omkring deponiet for at finde de primære kilder til metan samt lokalisere eventuelle andre metankilder i området, som kan interferere målingerne. Derefter placeres sporgasflasker så tæt på de primære emissionsområder på deponiet, og metan- og sporgaskoncentrationen måles langs en vej, der går på tværs af nedvindsfanen. Vejen skal have en passende afstand fra kilden, og der må ikke være andre metankilder til stede imellem deponiet og målevejen. Afstanden til målevejen afhænger af, hvor stort deponiet er og hvor meget metan, der emitteres. Afstanden til målevejen bør være minimum 4-5 gange bredden af deponiet og gerne længere væk, da dette giver en større opblanding af metan og sporgas, og dermed simulerer sporgassen bedre metan emissionen. Målingerne kan dog ikke foretages længere væk, end koncentrationsændringerne af metan og sporgas kan måles af det analytiske udstyr.

Der stiles imod at lave minimum 10 fanemålinger, hvor korrelationskoefficienten r^2 er større end 0.80 samt have et signal-/støjforhold på minimum 10. Dette datakvalitetskriterie er anbefalet i en større amerikansk undersøgelse af målemetoden (Forster-Witting et al., 2015).

Opnås de ønskede datakvalitetskriterier, vil usikkerheden på resultatet af den totale metan emission fra deponiet typisk være under 15%.

Sporgasmetoden kan også bruges til at kvantificere metan fra punktkilder, selvom disse er placeret på steder, hvor der er emission af metan fra andre kilder. Sporgas frigives med et kendt flow, præcis på det sted, hvor der er et "hotspot" af metanudslip. Samtidigt måles metan- og sporgaskoncentrationen 10-20 meter nedvinds fra emission/frigivelsesstedet. Forholdet imellem koncentrationen af sporgas og metan findes med et scatterplot og lineær regression, og emissionen af metan fra den enkelte kilde kan dermed findes. Den grundlæggende idé for denne stationære sporgasmetode fra enkeltkilder såsom perkolatbrønde er beskrevet af Fredenslund et al. (2010), og med FORCE's nye og hurtige udstyr kan sådanne målinger laves hurtigere og mere fleksibelt, da nedvindsfanen nemt kan fanges med den mobile analytiske opsætning.



For at finde potentielle emissions "hotspots" foretages screening af deponiet. Screeningen kan dels laves med det mobile analytiske udstyr og dels med en flammeioniseringsdetektor (FID). FID'en er bærbar og kan derfor bruges til at screene områder, hvor det mobile udstyr ikke kan komme frem samt til at måle koncentrationen af metan inde i f.eks. perkolatbrønde.

Metanemissionen fra deponier er ikke konstant. Emissionen kan variere med årstiden pga., at temperaturen i jordoverfladen ændrer de metanoxiderende bakteriers evne til at oxidere metanen til CO₂. Om dette har indflydelse på målingerne, afhænger meget af det enkelte deponi, og hvor metan bliver emitteret fra. Er der f.eks. aktiv udpumpning af gassen fra deponiet, vil denne ikke gå gennem det metanoxiderende øvre jordlag. Den mikrobielle metanproduktion sker så dybt i jorden, at temperaturændringer i atmosfæren ikke påvirker metanproduktionen nævneværdigt.

Ud over temperaturen kan også vind- og atmosfæriske tryk ændre på emissionen fra deponier. Af disse faktorer vurderes det atmosfæriske tryk af have den største indvirkning på metanemissionen. Både det absolute tryk og trykændringen vil påvirke emissionen. Der bliver p.t. forsket i at kvantificere størrelsen af denne emissionsændring som funktion af ændringer i det atmosfæriske tryk, men der er endnu ingen nem konverteringstabel mellem emissionen på en dag med et stigende tryk og en "normal" dag. Effekten af det atmosfæriske tryk vil selvsagt også afhænge af det enkelte deponi og, hvorledes metan emitteres. Som grundregel kan man sige, at laves en måling, imens der er et trykfald, kan målingen overestimere emissionen i forhold til en "normal" dag med stabilt tryk. Modsat forhold er gældende for en trykstigning, som kan resultere i en underestimering af metanemissionen. Det bør derfor forsøges at foretage metanmålingerne på et deponi på et tidspunkt med relative stabile atmosfæriske forhold, hvis der ønskes et emissionsresultat for en "gennemsnitsdag".

3.4 Overfladescreening

Overfladescreening er udført med en metandetektor med indbygget GPS (Laser One, QED Environmental Systems, UK) – se Figur 2. Udstyret er designet til lækagesøgning, og har en hurtig responstid (ca. 3,5 sekunder) samt en relativt god præcision (ca. 0,1 ppm CH₄). Måleudstyret var konfigureret til at registrere position og metankoncentration med 1 Hz målefrekvens. Måleresultater er i denne rapport visualiseret med anvendelse af OriginPro 2021 software.

Overfladescreening er udført for hvert af de tre deponier som supplement til screening med målebil, for at afsøge områder mere nøjagtigt, hvor deponigas emitteres fra. Der er undersøgt dels metanemission gennem jordafdækning, samt installationer mm., hvor deponigas ofte emitteres.



Figur 2. Måleudstyr brugt til overfladescreening (venstre). Screening ved installation (højre)

Screening af jordafdækning er udført ved at gå på overfladen af deponierne med måleudstyrets luftindtag ca. 10 cm. over jordoverfladen. Installationer er undersøgt ved at føre luftindtag nær installationerne, som vist i Figur 2.

Der er for hver screening valgt at fokusere på områder, hvor der mistænkes metanemission. Disse områder blev udpeget i dialog med deponierne ansatte, samt udførende på sporgasmåling, hvis indledende screening med målebil viser områder mere generelt med tegn på metanemission.

Resultater af den første målekampagne blev præsenteret for deponierne i forbindelse med planlægning af anden målekampagne, hvor evt. områder der manglede at undersøges blev udpeget.

Erfaringsmæssigt er det ofte på skråninger på deponier samt installationer til perkolatopsamling (fx "perkolatbrønde" (sigevannsbrønn)), hvor der ses metanemission. Der er derfor fokuseret på disse. Dog har det for deponierne været praktisk vanskeligt at screene skråninger detaljeret, da de ofte er stejle (hældninger var ofte nær 50%), samt tæt bevoksede.

Metoden har den begrænsning, at der kun undersøges præcis det areal, hvor der måles. De tre deponier, der er undersøgt her er relativt store. Der kan derfor være områder med metanemission, der ikke er fundet ved overfladescreeningen.



4 Resultater

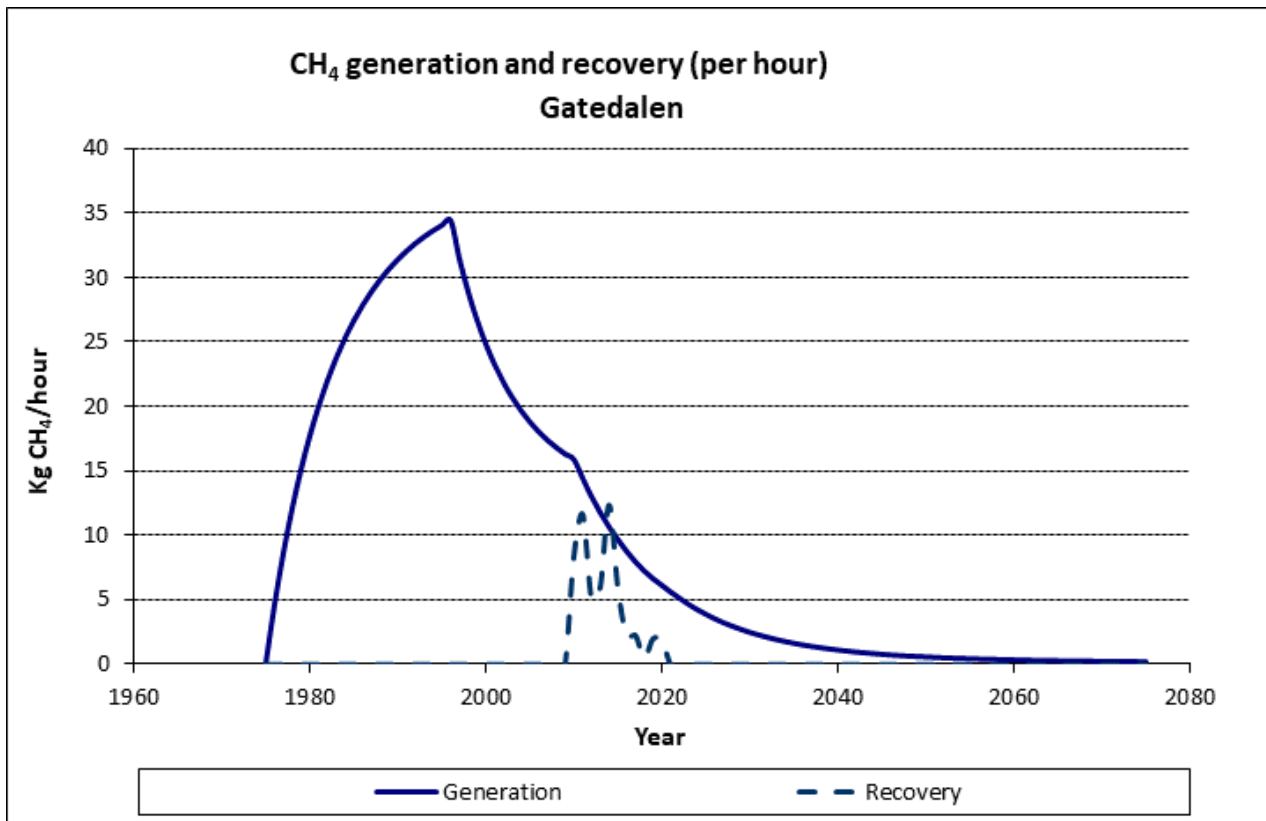
Resultatafsnittet er delt op, så resultaterne fra de enkelte deponier vises hvert for sig. Første præsenteres resultaterne af totalmålingen, inklusivt den mobile screening rundt farbare veje på deponiet. Derefter præsenteres resultaterne for den håndholdte screening. Endeligt opsummeres resultaterne og de sammenholdes med observationer og informationer fra deponierne.

4.1 Gatedalen Miljøanlæg

Gatedalen miljøanlæg er det kommunale deponi i Sarpsborg kommune. Affaldsanlægget tager imod affald fra både privatpersoner og mindre næringsvirksomheder. Deponiet er på ca. 100.000 m², og ligger ca. 300 meter fra nærmeste recipient, Glomma. Opstart af deponiet var i 1975, og siden den gang har deponiet modtaget ca. 450.000 ton affald. Per dags dato deponeres det ca. 400 ton ordinært affald årlig. Desuden modtages asbest og affald fra sandfang. Deponiet har både horisontale og vertikale gasopsamlingsledninger. Gassen affakles.

4.1.1 Modellering af teoretisk metanproduktion

Der er meget begrænset information om affaldsmængder og typer deponeret før 2010. Der er derfor gjort mange antagelser. Resultater fra sådanne beregninger er normalt meget usikre og denne beregning er derfor endnu mere usikker. Til input i modellen er brugt deponiets areal, en total mængde affald på 450.000 tons og at deponiet blev startet i 1975. Deponeringen er ligelig fordelt over alle år indtil 2010 hvor det kommer information om deponeret affald. Deponeret affald er indtil 1995 ligelig delt imellem husholdningsaffald, kommercielt affald og byggeaffald samt en fraktion affald uden organisk indhold. Efter 1995 antages det at der ikke er deponeret husholdningsaffald og den deponerede mængde er fordelt imellem de andre tre fraktioner.



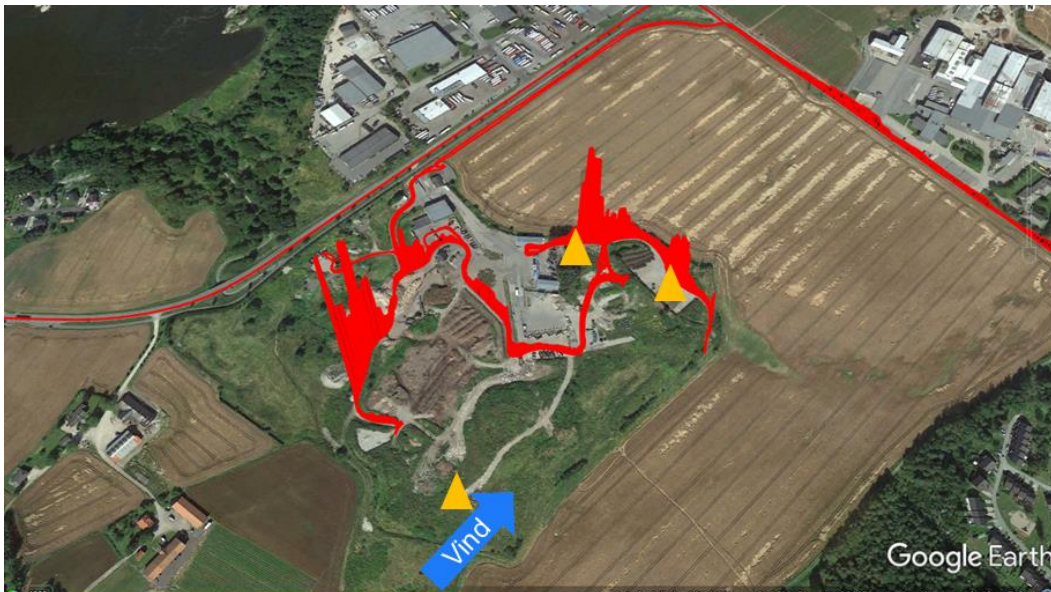
Figur 3. Den teoretiske metanproduktion samt den faktiske indvinding fra Gatedalen Miljøanlæg.

Som tidligere nævnt, så er det meget begrænset hvad der kan konkluderes ud fra beregninger foretaget med så mange estimeringer og antagelser.

4.1.2 Mobil screening for metanudslip samt måling af den totale emission

Gatedalen blev målt d. 22. og 24. november 2021 samt 12. maj 2022.

Figur 4 og Figur 5 viser resultaterne af de mobile screeninger foretaget på deponiområdet for at lokalisere de steder hvor der emitteres metan. Figurerne viser også hvor flasker med sporgas var placeret.



Figur 4. Kort over Gatedalen deponi. Rød markerer den relative metan koncentration over baggrundskoncentrationen målt d. 22. november 2021 og giver et billede af, hvor metanen emitteres fra på måledagen. Gule trekantede markerer, hvor sporgas flasker var placeret.



Figur 5. Kort over Gatedalen deponi. Rød markerer den relative metan koncentration over baggrundskoncentrationen målt d. 12. maj 2022 og giver et billede af, hvor metanen emitteres fra på måledagen. Gule trekantede markerer, hvor sporgas flasker var placeret.

En del af metanen fra deponiet kommer fra de bunker af slam der ligger på deponiets nordvestlige del og hvor der var placeret to sporgasflasker d. 12. maj 2022. Hvor stor en del er ikke til at sige ud fra en totalmåling.

Totalmålingen af metan fra hele deponiet blev både i november 2021 og maj 2022 foretaget ca. 1700 meter nordøst for deponiet. Sporgas blev opsat på deponiet (se Figur 4 og Figur 5), hvor de højeste metan koncentrationer blev fundet ved screening rundt på deponiet. Figur 6 viser et plot af fanekonzentrationen af metan og sporgas efter, at baggrundskoncentrationen er trukket fra og viser at der ikke er andre forstyrrende metankilder samt at metan og sporgas følges ad på målevejen 1700 m nedvinds fra deponiet.



Figur 6. Metan- og sporgasfanen ca. 500 meter og ca. 1700 meter nedvinds fra Gatedalen deponi. Kvantificeringen er foretaget ved 1700 meter.

Tabel 2. Beregnede emissioner fra hver af fanetraverserne på målevejen ca. 1700 m nordøst for Gatedalen deponi den 22. nov. 2021.

Tid (tt:mm)	Emission (kg time ⁻¹)
15:07	18,80
15:09	15,80
15:11	18,41
15:12	16,82
15:13	13,33
15:15	15,94
15:16	15,21
15:18	13,76
15:19	14,07
15:20	15,79
15:22	17,39
15:23	17,23
15:24	15,04
15:26	12,81
Standardafvigelse på enkeltmålingerne (1s)	1,85
Middelværdi af enkeltmålingerne	15,74
Usikkerheden på middelværdien (2s)*	1,25
Usikkerhed inkl. eksterne bidrag**	2,04

*) Usikkerheden på middelværdien angivet på 95% konfidensniveau.

***) Usikkerhedsbidrag fra kalibrering af måleudstyr, flowmetre og sporgas

Tabel 3. Beregnede emissioner fra hver af fanetraverserne på målevejen ca. 1700 m nordøst for Gatedalen deponi den 24. nov. 2021.

Tid (tt:mm)	Emission (kg time ⁻¹)
12:32	14,82
12:35	11,32
12:38	11,13
12:40	13,61
12:43	13,33
12:47	14,05
12:52	10,75
12:53	10,33
12:54	15,08
12:57	13,73
12:58	14,00
Standardafvigelse på enkeltmålingerne (1s)	1,71
Middelværdi af enkeltmålingerne	12,92
Usikkerheden på middelværdien (2s)*	1,36
Usikkerhed inkl. eksterne bidrag**	1,90

*) Usikkerheden på middelværdien angivet på 95% konfidensniveau.

***) Usikkerhedsbidrag fra kalibrering af måleudstyr, flowmetre og sporgas

Tabel 4. Beregnede emissioner fra hver af fanetraverserne på målevejen ca. 1700 m nordøst for Gatedalen deponi den 12. maj 2022.

Tid (tt:mm)	Emission (kg time ⁻¹)
9:03	8,35
9:05	5,03
9:08	2,92
9:11	4,63
9:13	4,18
9:14	7,56
9:16	9,50
9:18	6,82
9:20	5,68
9:22	7,25
9:31	5,62
9:33	6,13
9:38	3,10
Standardafvigelse på enkeltmålingerne (1s)	1,97
Middelværdi af enkeltmålingerne	5,91
Usikkerheden på middelværdien (2s)*	1,40
Usikkerhed inkl. eksterne bidrag**	1,54

*) Usikkerheden på middelværdien angivet på 95% konfidensniveau.

**) Usikkerhedsbidrag fra kalibrering af måleudstyr, flowmetre og sporgas

Emissionen blev målt til:

22. nov. 2021: 15,7±2,0 kg/time.

24. nov. 2021 12,9±1,9 kg/time.

12. maj 2022 5,9±1,5 kg/time.

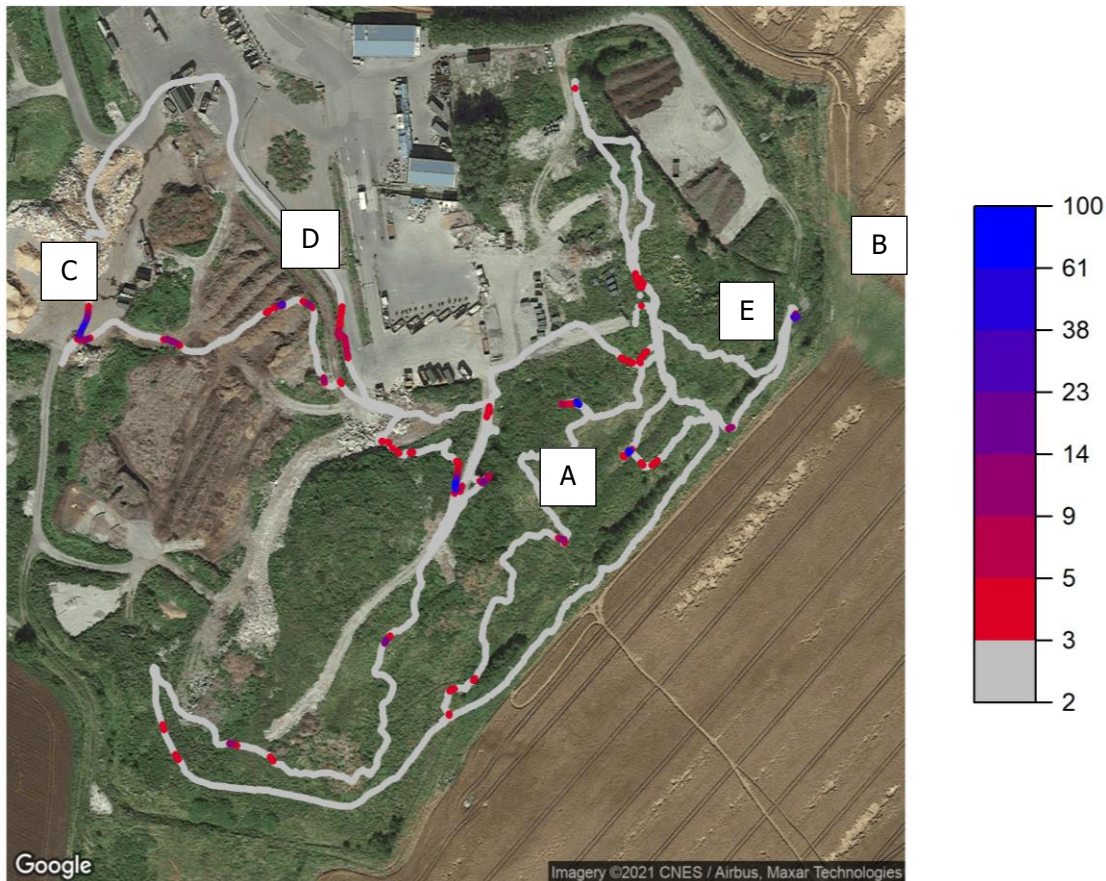
Trods gasindvinding, så er emissionerne større end den teoretiske metanproduktion. Dette er højt sandsynligt på grund af usikkerheden i information om det deponerede affald samt den generelle usikkerhed på modelleringer af metanproduktionen/potentialet.

I Danmark lavede man, fra år 2016 og frem, en screening på ca. 200 deponier og efterfølgende emissionsmålinger på ca. 50 deponier. 25 af disse deponier blev udvalgt til at få økonomisk tilskud fra Miljøstyrelsen til at lave biocover. Kriterierne for mulig støtte var at deponierne emitterede mere end 6 kg/time.

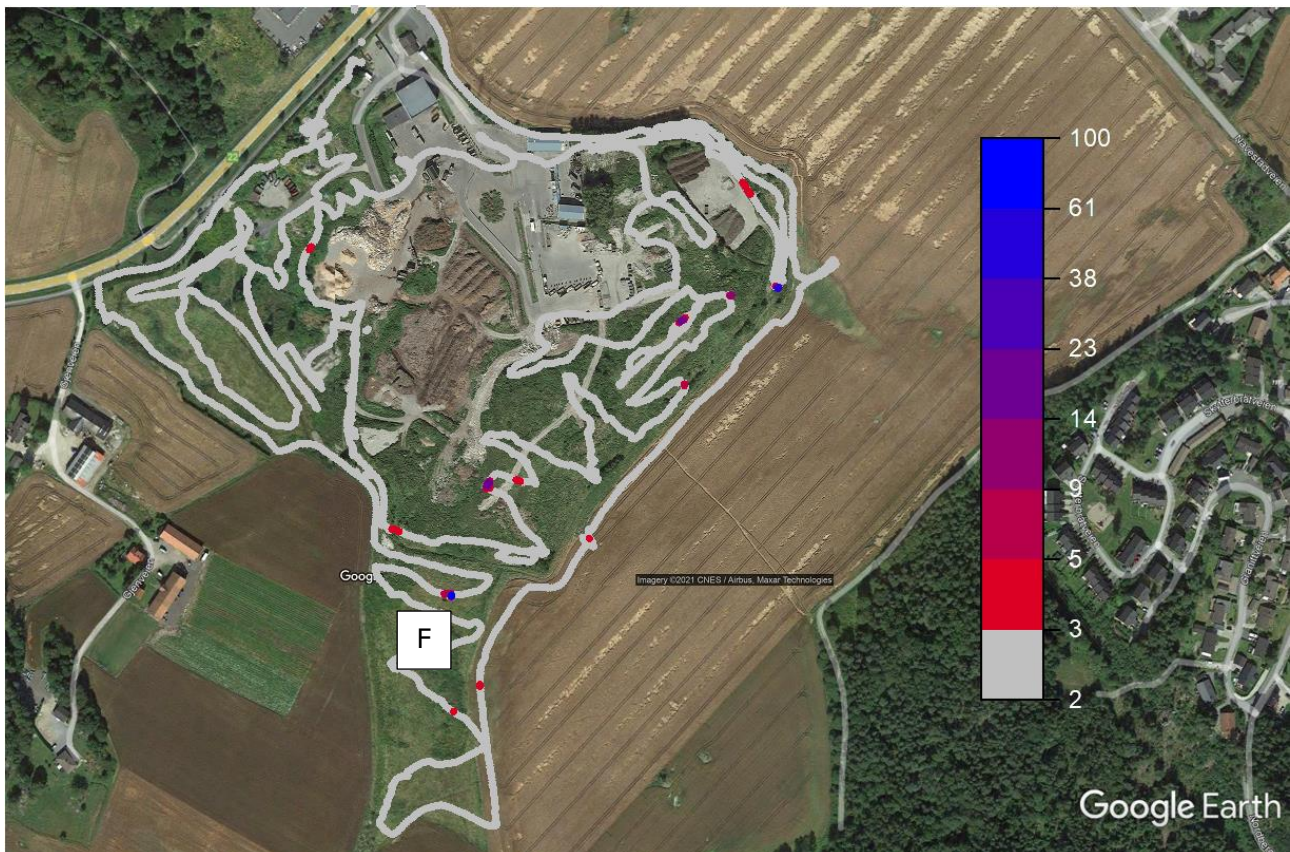
Emissionerne fra Gatedalen er altså store nok til at man i det Danske projekt ville gå videre med yderligere tiltage for at minimere emissionen.

4.1.3 Overfladescreening

Figur 7 og Figur 8 viser resultater af overfladescreeninger gjort med håndholdt udstyr som beskrevet i afsnit 3.4. Når der måles koncentration af metan nær atmosfæreniveau, vises dette med grå i figuren, for at fremhæve de områder hvor der måles forhøjet metan, hvilket er tegn på metanemission.



Figur 7. Resultat af overfladescreening udført i målekampagne 1 udført 22. nov. og 24. nov 2021. Røde og blå farver markerer hvor der er målt forhøjet metan. Værdier for koncentrationer angivet i skalaen er parts per million (ppm). Bogstaver i figuren (A, B, C...) henviser til områder beskrevet nærmere.





Figur 8. Resultat af overfladescreening udført i målekampagne 2 udført 11. maj og 12. maj 2022. Røde og blå farver markerer hvor der er målt forhøjet metan. Værdier for koncentrationer angivet i skalaen er parts per million (ppm). Bogstaver i figuren (A, B, C...) henviser til områder beskrevet nærmere.

Af Figur 7 og Figur 8 er det tydeligt, at der findes færre områder med metanemission i målekampagne 2 sammenlignet med målekampagne 1. Dette er på trods af, at en større del af deponiet er screenet i målekampagne 2. Tabel Z beskriver observationer for de forskellige områder angivet med A, B, C, osv. i figurerne.

Tabel 5. Beskrivelse af forskellige steder, hvor der måltet forhøjet metan på Gatedalen deponi.

Sted	Beskrivelse af sted og Observationer	Evt. foto
A	Jordafdækning. I deponiets sydøstlige del ses en del steder med forhøjet metan, der indikerer emission gennem jordafdækning. Målt metankoncentration var mellem få ppm (lidt over baggrundsniveau) op til ca. 80 ppm de forskellige steder i målekampagne 1.	

<p>B</p>	<p>Mark nær deponi. Der blev målt forhøjet metan på mark i målekampagne 1, på områder hvor der også blev set tegn på vegetationsskade (se foto). Pga. fejl, var datalogging ikke aktiveret, så målte koncentrationer er ikke afbildet i Figur 7. Der er underliggende perkolatledninger, der kan være årsag til gasemission.</p>	
<p>C</p>	<p>Mindre område nær kompostering. Der blev målt forhøjet metan ved et mindre hot spot nær komposteringsanlæg (op til ca. 40 ppm)</p>	
<p>D</p>	<p>Komposteringsanlæg. Der blev målt forhøjet metan nedvinds nogle kompostmiler, samt på toppen af mile. Metan kan komme fra komposteringen, og ikke fra deponeret affald</p>	
<p>E</p>	<p>Brønd på gasindvindingsystem. Der blev målt forhøjet metan ved brønd (op til ca. 20 ppm), der tyder på at en mindre del af metan fra gasindvindingsystemet udledes her.</p>	

F	<p>Vandhul. Der blev målt forøget metan ved vandoverfladen, der tyder på emission herfra.</p>	
---	--	--

4.1.4 Sammenfatning af måleresultater fra Gatedalen deponi

Den 22. nov. 2021 og d. 24. nov. 2021 blev der målt hhv. uden og med gasindvinding. Da de atmosfæriske forhold var relative ens de to dage, vurderes det at den højere emission d. 22. nov. 2022 skyldes den manglende gasindvinding. Målingen d. 12. maj 2022 viste meget mindre emission end i nov. 2021. Gasindvindingen kørte d. 12. maj 2022 og forskellen skyldes de atmosfæriske forhold. D. 12. maj 2022 var der et stigende atmosfærisk, hvilket midlertidigt kan forhindre den producerede gas i at blive emitteret. Overfladescreeningerne viste samme tendens, med flere emissionspunkter i november 2021 end i maj 2022.

4.1.5 Forslag til tiltag for at minimere metanemission fra Gatedalen deponi

Emissionen fra Gatedalen foregår i punktkilder, spredt ud over det meste af deponiet. De ansvarlige på anlægget har forklaret at der samler sig vand i dele af rørføringen til gasindvindingen og at dele af systemet kan være ødelagt. Koncentrationen af metan i emissionspunkterne tyder dog på at der ikke sker emission direkte fra gasopsamlingsystemet. Under forholdene med høj vandstand og vandfyldte rør uden nævneværdig emission, vurderes det at der ikke potentiale til større indvinding af deponigas ved en eventuel udbygning af gasindvindingssystemet. Det vurderes at den optimale løsning er at bibeholde, og fortsat vedligeholde, det eksisterende gassystem samt foretage tiltag til at minimere metan emissionen til atmosfæren.

4.1.5.1 Detaljeret forslag til tiltag med tilhørende prisoverslag

På grundlag af nærværende kortlægning af metanemissionen med til hørende beskrivelse samt efterfølgende indhentede oplysninger og tegninger er det nødvendigt at opdele tiltagene i 2 etaper.

Som første etape gennemføres følgende som forudsætning for detail projektering af "biovinduer" og biocover med tilhørende budget:

1. Brønd på gasindvindingssystem(E) bør gøres gastæt med gastæt dæksel.
2. Det vurderes at den konstaterede metan emission på mark nær deponi (B) hidrører fra perkolat- eller gasindvindingssystemet der helt eller delvis er ude af drift. Det anbefales derfor at der foretages en nærmere undersøgelse af mulighederne for at tage den del af gasindvindingssystemet, som ikke er i brug i brug igen. Ligeledes bør det undersøges nærmere i brønd på perkolatsystem om der emitteres metan derfra.
3. Der er tilsyneladende ikke er tilstrækkelig slutafdækning i det sydøstlige område (A) med målte mindre metan emissioner. Der skal derfor foretages supplerede slutafdækning med min 0,6 m egnet råjord og overliggende 0,4 m vækstlag med 50 % kompost. Den foreslåede afdækning er supplerende

afdækning. Erfaringer fra dansk deponi (tilsvarende etableret på Ærø Losseplads på skrånning med henblik på yderligere oxidation af metan fra deponiet). Dette er godkendt af miljømyndigheden i Danmark og effekten er efterfølgende dokumenteret ved målinger udført af FORCE.

4. Perkolat opsamlingsbassinet (F) skal sløjfes og der skal etableres ny gastæt opsamlingsbeholder med gastæt dæksel med afløb til perkolatsystem og tilsluttes det eksisterende gasindvindingsanlæg, hvis muligt.

Ovenstående tiltag er forslag til udbedringer i første fase på baggrund af de målinger der er udført og Rambølls erfaringer fra danske anlæg. Efterfølgende skal der udføres mere omfattende screeninger og emissionsmålinger og med henblik på detail forslag til etablering af biovinduer.

På baggrund af ovenstående beskrivelse er der udarbejdet et anlægsoverslag. Overslaget er relativt usikkert, da dimensioner og dybder af brønde, samt omfanget af utætheder skal klarlægges bedre. Der er taget udgangspunkt i at utætte brønde tættes evt. med en tætindsats og nye topringe med dæksler. Arealer der skal have supplerende slutafdækning er skønnet på baggrund af oversigtskort.

Post	Enhed	Mængde	Pris (DKK)
Byggeplads	stk	1	50.000
Tætbrønd og tætdæksel (E)	stk	1	50.000
Supplerende slutafdækning (A)	m ²	3.000	500.000
Sløjfning af dam og etablering af opsamlingsbeholder (F)	stk	1	250.000
Diverse 15%			130.000
I alt			980.000

Som supplerende undersøgelse skal der forud for projekteringen gennemføres en besigtigelse med registrering af brønde og arealer m.m.

På baggrund af besigtigelse og registrering kan der gennemføres en projektering og udbud. Derudover skal der udføres tilsyn i forbindelse med udførelsen. Tilsyn forventes primært af bestå af tilsyn i forbindelse med byggemøder.

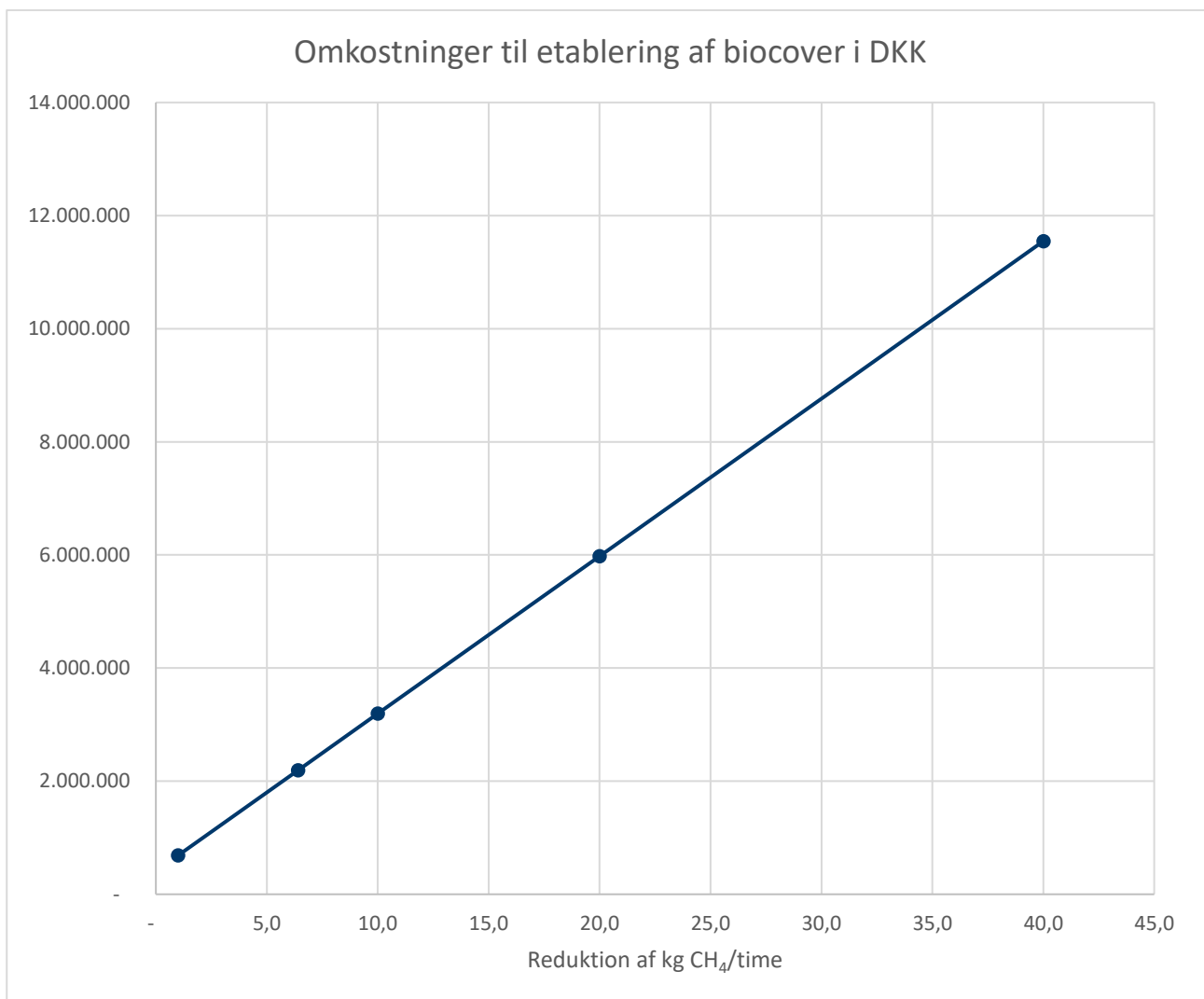
Post	Pris (DKK)
Supplerende undersøgelser for projekteringen	55.000
Projektering og udbud	115.000
Tilsyn	50.000
I alt	200.000

Når ovenstående udbedringer og forbedringer er gennemført, skal der ca. 3 måneder efter gennemføres ny totalmåling og screening af metanemission som grundlag for dimensionering og placering af "biovinduer" og biocover.

En totalmåling og screening af metanemission koster ca. 75.000 DKK, såfremt der ikke er andre samtidige målinger på deponier i området.

Anden etape er udarbejdelse af detailprojekt og budget med henblik på at opnå en total metanemission mindre end 2 kg CH₄/time.

På grundlag af Rambølls erfaringer fra 3 projekter i Danmark med reduktion af metanemission fra deponier, hvor der tidligere er deponeret organisk affald af forskellige kategorier og efterfølgende er foretaget nedlukning af deponiafsnittene tilhørende topafdækning, er der foretaget nedenstående estimering af de totale omkostninger for design, projektering, udbud, tilsyn og efterfølgende dokumentation for opnået reduktion af metanemission.



Figur 9. Omkostninger til etablering af biocover som funktion af reduktion af metan emission

Den opnåede reduktion af metanemission er biocover, der er etableret med en moden kompost af have- og parkaffald med metan oxidationskapacitet på 0,075 kg CH₄/døgn/m² i et 0,8 m lag oven på 0,3 m gasfordelingslag af neddelbet beton. Det svarer til at 320 m² biocover reducerer metanemission med 1 kg/time.

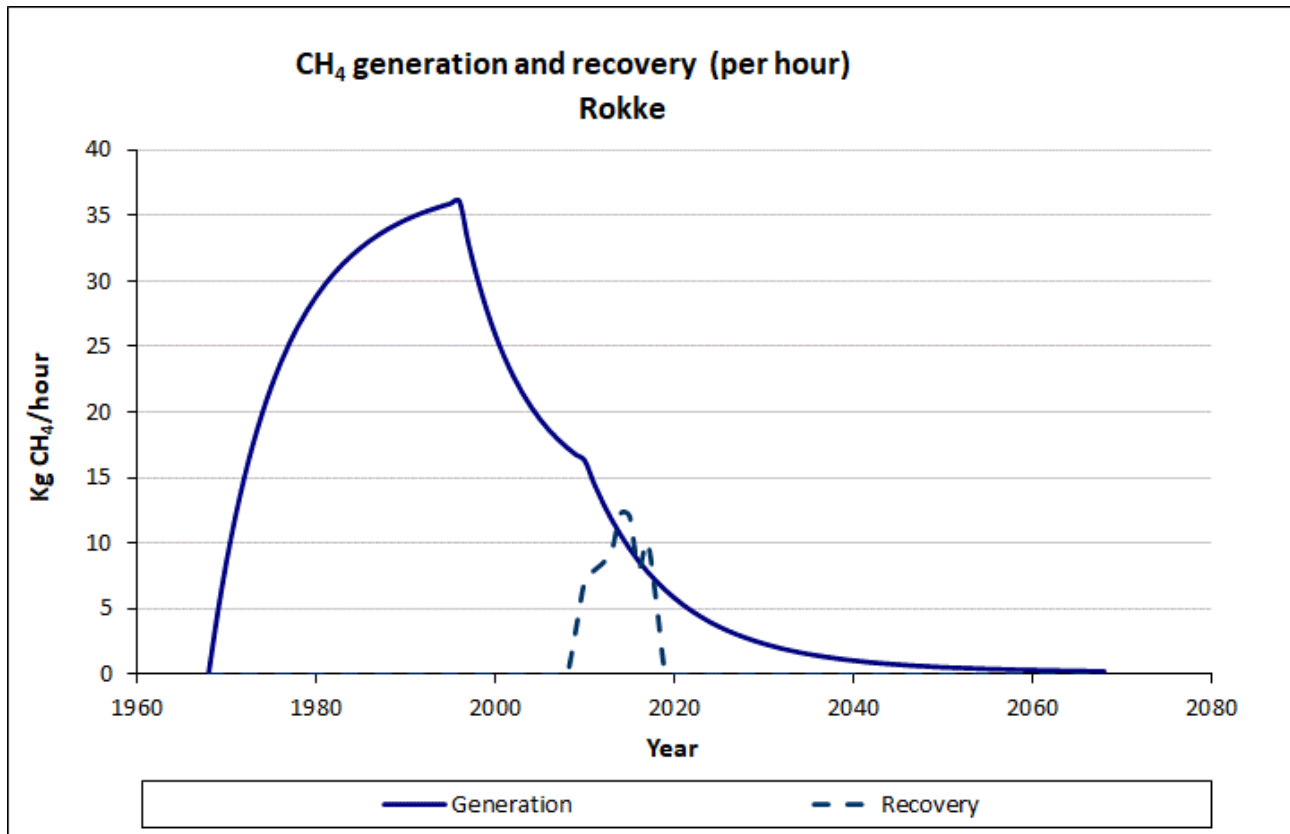
4.2 Rokke Affaldsanlæg

Rokke affaldsanlæg er et kommunalt affaldsanlæg for modtagelse og håndtering af husholdningsaffald og næringsaffald. Affaldsvirksomheden i området blev startet af Halden kommune i 1968. De ældste deponidele ligger vest for eksisterende anlæg og er tilbageført til landbrugsformål. Deponiet er delt ind i ældre del

og ny del. Ny del er etableret med dobbelt bundtætning. Deponigasanlægget på Rokke består af 40 brønde og der er nedlagt vertikale og horisontale gasrør. Gassen bliver affaklet på deponigasanlægget.

4.2.1 Modellering af teoretisk metanproduktion

Der er ikke informationer om mængden af affald der er deponeret siden start i 1968. I modelleringen af metanproduktionen er der antaget samme årlige mængde og fordeling som for Gatedalen. Der er information om slam deponeret imellem 2012 og 2017 og disse er medtaget i beregningerne.



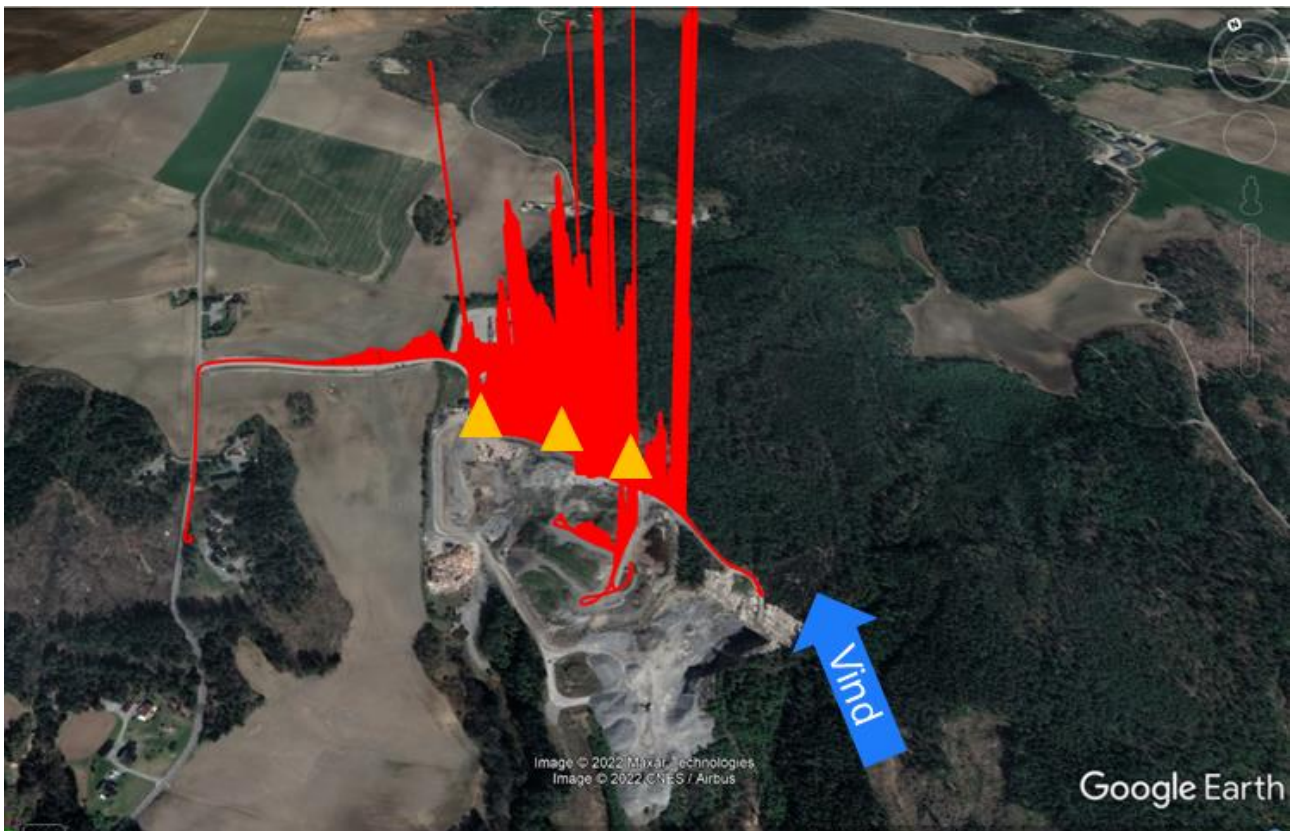
Figur 10. Den teoretiske metanproduktion samt den faktiske indvinding fra Rokke Affaldsanlæg.

Der er foretaget mange estimeringer og antagelser for at få data til modelleringen af metanproduktionen, og man skal derfor være yderst varsom med at lave konklusioner på resultatet af modelleringen.

4.2.2 Mobil screening for metanudslip samt måling af den totale emission

Rokke Affaldsanlæg blev målt d. 23. november 2021 samt 12. maj 2022.

Figur 11 og Figur 12 viser resultaterne af de mobile screeninger foretaget på deponiområdet for at lokalisere de steder hvor der emitteres metan. Figureerne viser også hvor flasker med sporgas var placeret.

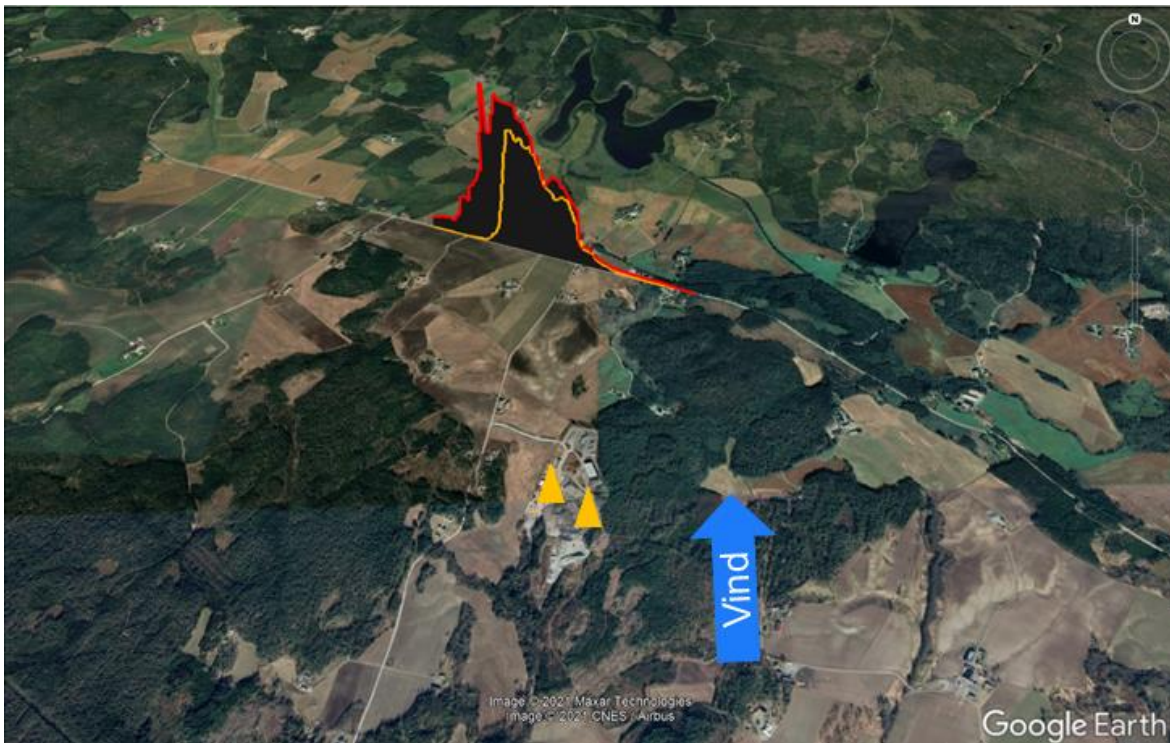


Figur 11. Kort over Rokke deponi. Rød markerer den relative metan koncentration over baggrundskoncentrationen målt d. 23. november 2021 og giver et billede af, hvor metanen emitteres fra på måledagen. Gule trekanter markerer, hvor sporgas flasker var placeret.



Figur 12. Kort over Rokke deponi. Rød markerer den relative metan koncentration over baggrundskoncentrationen målt d. 12. maj 2022 og giver et billede af, hvor metanen emitteres fra på måledagen. Gule trekantede markerer, hvor sporgas flasker var placeret.

Totalmålingen af metan fra hele deponiet blev både i november 2021 og maj 2022 foretaget ca. 1200 meter nord/nordøst for deponiet. Sporgas blev opsat på deponiet (se Figur 11 og Figur 12), hvor de højeste metan koncentrationer blev fundet ved screening rundt på deponiet. Figur 13 viser et plot af faneconcentrationen af metan og sporgas efter, at baggrundskoncentrationen er trukket fra.



Figur 13. Metan- og sporgasfanen ca. 1200 nedvinds fra Rokke deponi.

Tabel 6. Beregnede emissioner fra hver af fanetraverserne på målevej ca. 1200 m nord for Rokke deponi den 22. nov. 2021.

Tid (tt:mm)	Emission (kg time ⁻¹)
13:56	13,76
13:59	22,75
14:01	20,73
14:03	15,37
14:05	13,07
14:06	12,53
14:09	15,96
14:11	17,19
14:14	12,23
14:16	12,34
14:19	11,95
14:21	11,81
14:24	20,51
14:26	19,84
14:30	22,97
Standardafvigelse på enkeltmålingerne (1s)	4,14
Middelværdi af enkeltmålingerne	16,20
Usikkerheden på middelværdien (2s)*	2,68
Usikkerhed inkl. eksterne bidrag**	3,16

*) Usikkerheden på middelværdien angivet på 95% konfidensniveau.

***) Usikkerhedsbidrag fra kalibrering af måleudstyr, flowmetre og sporgas

Tabel 7. Beregnede emissioner fra hver af fanetraverserne på målevejen ca. 1200 m nordøst for Rokke deponi den 12. maj 2022.

Tid (tt:mm)	Emission (kg time ⁻¹)
11:56	11,93
12:02	3,97
12:04	7,00
12:06	6,82
12:08	12,77
12:12	9,04
12:13	6,95
12:16	8,50
12:18	7,89
12:20	10,99
12:22	8,87
12:23	8,31
12:32	8,69
Standardafvigelse på enkeltmålingerne (1s)	2,33
Middelværdi af enkeltmålingerne	8,60
Usikkerheden på middelværdien (2s)*	1,65
Usikkerhed inkl. eksterne bidrag**	1,90

*) Usikkerheden på middelværdien angivet på 95% konfidensniveau.

***) Usikkerhedsbidrag fra kalibrering af måleudstyr, flowmetre og sporgas

Emissionen blev målt til:

23. nov. 2021: 16,2±3,2 kg/time.

12. maj 2022 8,6±1,9 kg/time.

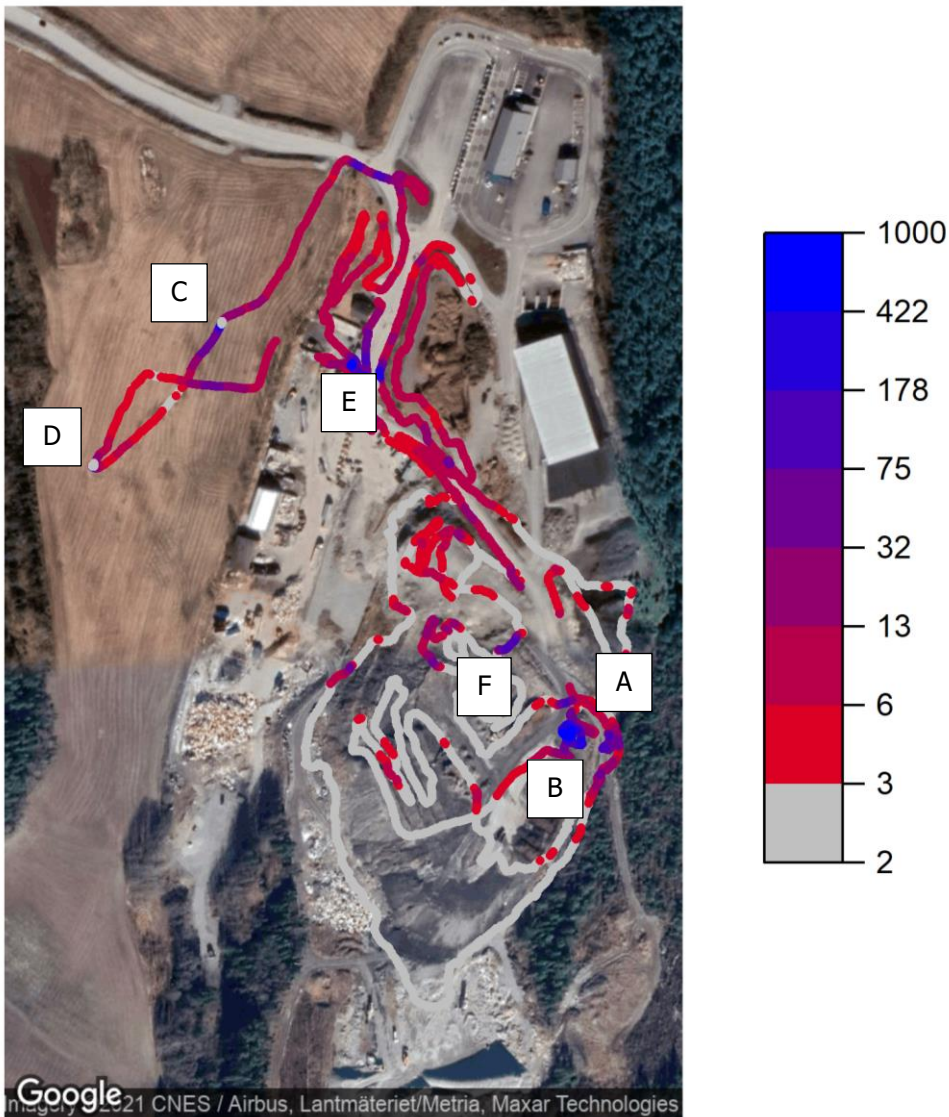
Målingerne ligger begge over den teoretiske metanproduktion. Dette skyldes højst sandsynligt den manglende information om affaldet i deponiet.

I Danmark lavede man, fra år 2016 og frem, en screening på ca. 200 deponier og efterfølgende emissionsmålinger på ca. 50 deponier. 25 af disse deponier blev udvalgt til at få økonomisk tilskud fra Miljøstyrelsen til at lave biocover. Kriterierne for mulig støtte var at deponierne emitterede mere end 6 kg/time.

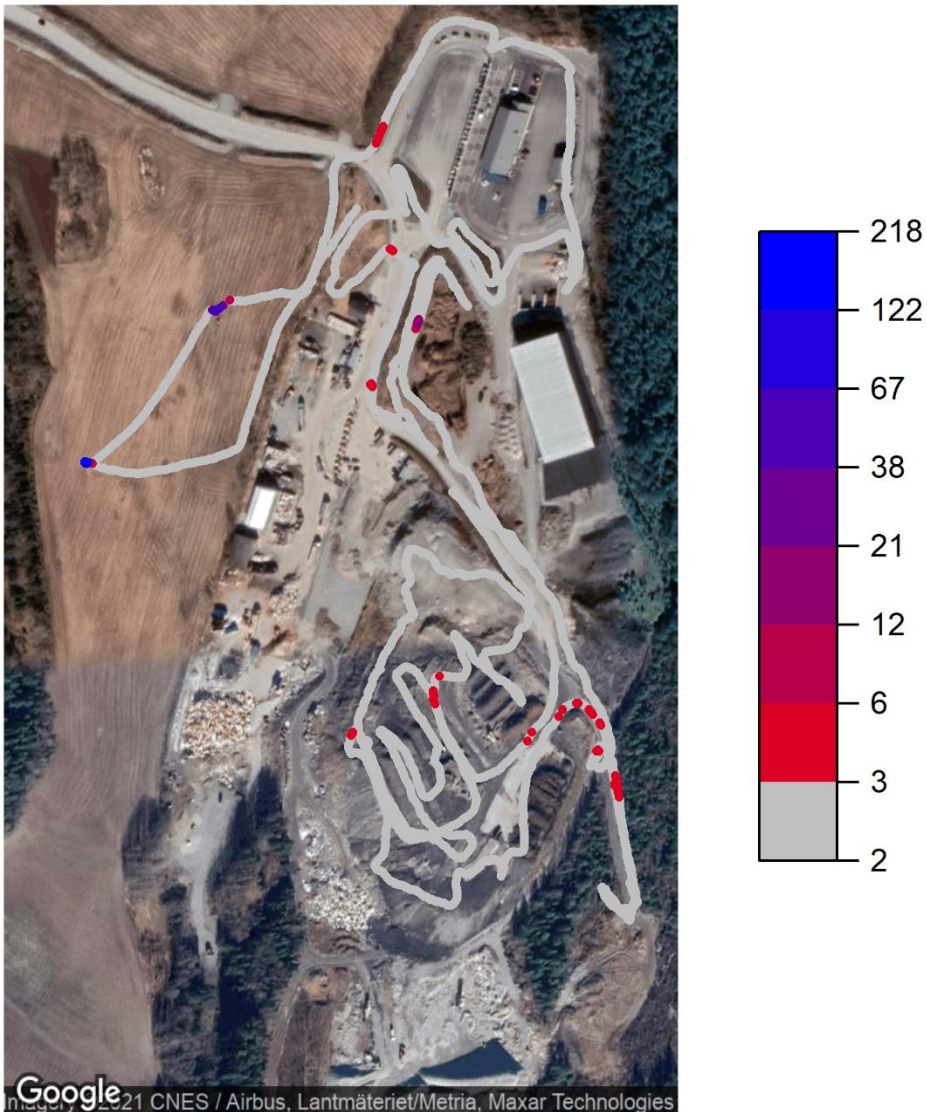
Emissionerne fra Rokke er altså store nok til at man i det Danske projekt ville gå videre med yderligere tiltage for at minimere emissionen.

4.2.3 Overfladescreening

Figur 14 og Figur 15 viser resultater af overfladescreeninger gjort med håndholdt udstyr som beskrevet i afsnit 3.4. Når der måles koncentration af metan nær atmosfæreniveau, vises dette med grå i figuren, for at fremhæve de områder hvor der måles forhøjet metan, hvilket er tegn på metanemission.



Figur 14. Resultat af overfladescreening udført i målekampagne 1 udført 23. nov. 2021. Røde og blå farver markerer hvor der er målt forhøjet metan. Værdier for koncentrationer angivet i skalaen er parts per million (ppm). Bogstaver i figuren (A, B, C...) henviser til områder beskrevet nærmere.





Figur 15. Resultat af overfladescreening udført i målekampagne 2 udført 12. maj 2022. Røde og blå farver markerer hvor der er målt forhøjet metan. Værdier for koncentrationer angivet i skalaen er parts per million (ppm).

Af Figur 14 og Figur 15 er det tydeligt, at der findes færre områder med metanemission i målekampagne 2 sammenlignet med målekampagne 1. Dette er på trods af, at en større del af deponiet er screenet i målekampagne 2.



Tabel 8 beskriver observationer for de forskelle områder angivet med A, B, C, osv. i figurerne.

Tabel 8. Beskrivelse af forskellige steder, hvor der måltet forhøjet metan på Rokke deponi.

Sted	Beskrivelse af sted og observationer	Evt. foto
A	<p>Jordafdækning. Der måltet forhøjet metan (op til flere 100 ppm) i et mindre område nær vej, hvor der ligger en del knust beton mm.</p>	
B	<p>Slamdepot. Der blev målt forhøjet metan nær opbevaret slam. Metanemission kan komme fra slammet selv, og muligvis ikke fra deponeret affald.</p>	
C, D	<p>2 brønde på mark (tidligere deponi). Der blev målt meget høje metankoncentrationer nedvinds og nær to brønde på marken ved siden af deponiet. Koncentrationer var op til flere vol.% metan ved første målekampagne men væsentligt lavere ved anden måling (op til ca. 200 ppm). Disse brønde vurderes at være årsag til væsentlig metanemission.</p>	
E	<p>Kloakrist. Der blev målt forhøjet metan i området ved administrationsbygning. Ved afsøgning med måleudstyr blev der målt meget høj koncentration ved kloakrist (flere vol.% ved målekampagne 1), der kan være årsag til forhøjet metan i området.</p>	

F	<p>Jordafdækning. Der blev målt forøget metan forskellige steder på jordafdækningen på deponiet (op til ca. 100 ppm).</p>	
---	--	--

4.2.4 Sammenfatning af resultater fra Rokke deponi

Der var relativ stor forskel på emissionen på de to måledage. Det vides ikke 100% om gasindvindingen kørte under målingen i november 2021, men det var vores oplevelse at der ikke var nogen gasindvinding imens målingerne blev foretaget. I maj 2022 var der ikke gasindvinding. Det vurderes derfor at den mindre emission skyldes det stigende atmosfæriske tryk under målingen i maj 2022. De lavere emission i maj 2022 ses også tydeligt på overfladescreeningen, hvor der var langt færre emissionspunkter og med lavere koncentrationer. I november 2021 var der metan i %-koncentrationer ved brøndene på marken ved siden af deponiet, hvilket ikke var tilfælde ved målingen i maj 2022.

4.2.5 Forslag til tiltag for at minimere metanemission fra Rokke deponi

Emissionen fra Rokke deponi foregår fra relativt få punktkilder. Det vurderes at den primære del kommer fra eksisterende brønde og borer. Ifølge de oplysninger vi har fået, så har der været problemer med gassystemet de seneste år. Vi observerede ikke gasindvinding under de to målinger og det er uvist hvor meget anlægget har kørt omkring målingerne. Det foreslås at såfremt gasanlægget kan komme op og køre stabilt, så bør dette gøres. Derefter foreslår vi nedenstående plan for håndteringen af den resterende emission af metan.

4.2.5.1 Detaljeret forslag til tiltag med tilhørende prisoverslag

På grundlag af nærværende kortlægning af metanemissionen med tilhørende beskrivelse samt efterfølgende indhentede oplysninger og tegninger er det nødvendigt at opdele tiltagene i 2 etaper.

Som første etape gennemføres følgende som forudsætning for detail projektering af "biovinduer" og biocover med tilhørende budget:



1. Færdigopfyldte områder på det nuværende deponiområde (A+F) skal supplerende slutafdækkes med min 0,6 m egnet råjord og overliggende 0,4 m vækstlag med 50 % kompost, så gasindvindingsanlægges effektiviseres og eventuel emission af metan oxideres i vækstlaget. Det skal undersøges nærmere, hvor stort areal der er tale om.
2. De perkolat brønde, der er beliggende på det tidligere deponiområde (C+D), der nu er overgået til jordbrugsdrift, skal udskiftes til gastætte brønde med gastætte dæksler og det skal undersøges om de kan udluftes/tilsluttes det eksisterende gasindvindingsanlæg. Den nedestrøms brønd skal foruden forsynes med vandlås så der ikke emitteres deponigas videre i afløbssystemet.
3. Brønde med afløbsriste for overfladevand på befæstede områder ved administrationsbygning (E) skal udskiftes til brønde med sandfang og vandlås, med henblik på at minimere metan emission fra afløbsledninger

På baggrund af ovenstående beskrivelse er der udarbejdet et anlægsoverslag. Overslaget er relativt usikkert, da dimensioner og dybder af brønde, samt omfanget af utætheder skal klarlægges bedre. Der er taget udgangspunkt i at utætte brønde tætnes evt. med en tætningsindsats og nye topringe med dæksler. Arealer der skal have supplerende slutafdækning er skønnet på baggrund af oversigtskort.

Post	Enhed	Mængde	Pris (DKK)
Byggeplads	stk	1	60.000
Tæt brønd og tæt dæksel (C+D)	stk	2	425.000
Vandlås (Nedstrøms E)	stk	2	75.000
Supplerende slutafdækning (A+F)	m ²	4.000	650.000
Nye brønd ved E	stk	1	10.000
Diverse 15%			180.000
I alt			1.400.000

Som supplerende undersøgelse skal der forud for projekteringen gennemføres en besigtigelse med registrering af brønde og arealer m.m.

På baggrund af besigtigelse og registrering kan der gennemføres en projektering og udbud. Derudover skal der udføres tilsyn i forbindelse med udførelsen. Tilsyn forventes primært af bestå af tilsyn i forbindelse med byggemøder.

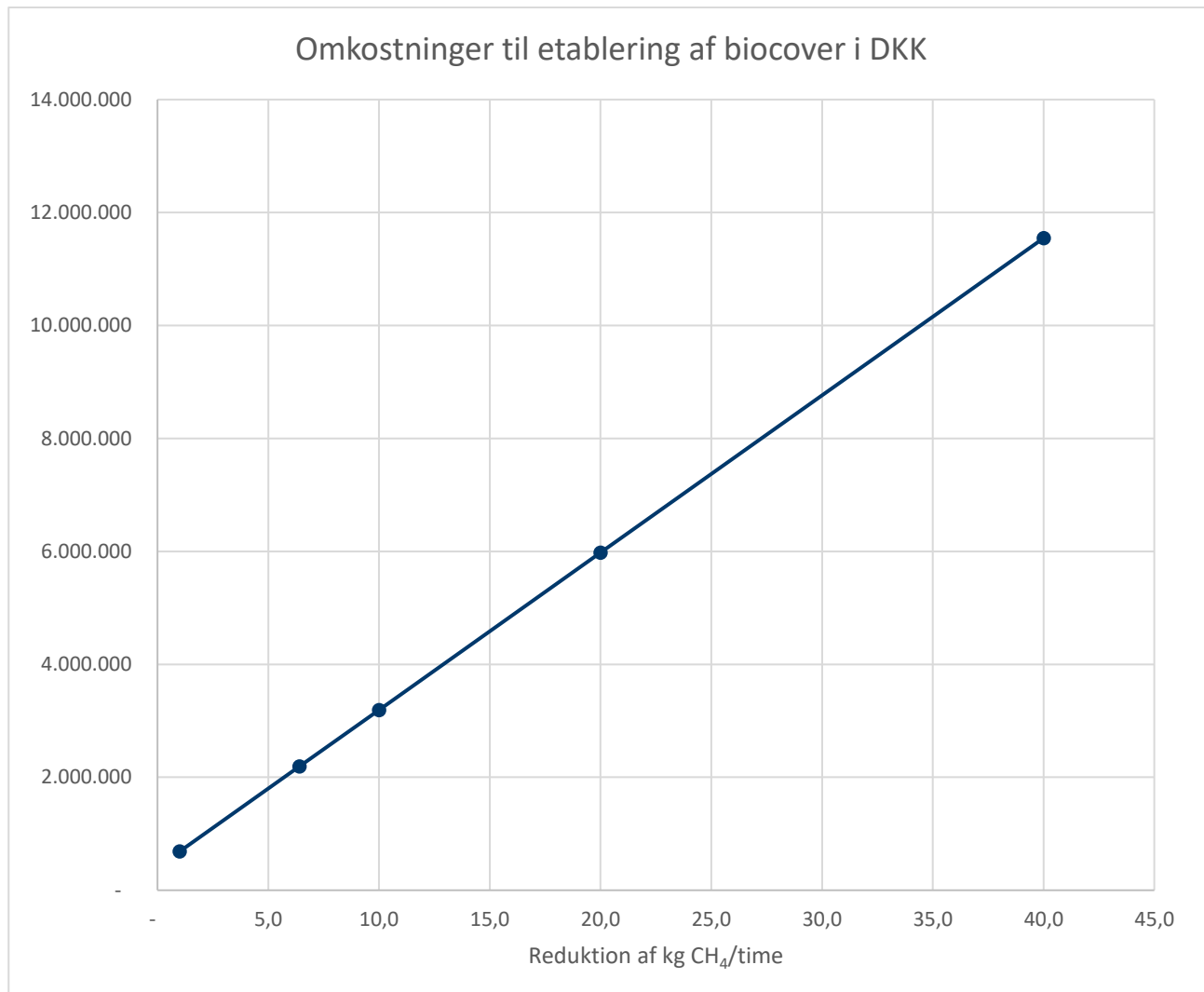
Post	Pris (DKK)
Supplerende undersøgelser for projekteringen	35.000
Projektering og udbud	125.000
Tilsyn	60.000
I alt	220.000

Når ovenstående udbedringer og forbedringer er gennemført, skal der ca. 3 måneder efter gennemføres ny totalmåling og screening af metanemission som grundlag for dimensionering og placering af "biovinduer" og biocover.

En totalmåling og screening af metanemission koster ca. 75.000 DKK, såfremt der ikke er andre samtidige målinger på deponier i området.

Anden etape er udarbejdelse af detailprojekt og budget med henblik på at opnå en total metanemission mindre end 2 kg CH₄/time.

På grundlag af Rambølls erfaringer fra 3 projekter i Danmark med reduktion af metanemission fra deponier, hvor der tidligere er deponeret organisk affald af forskellige kategorier og efterfølgende er foretaget nedlukning af deponiafsnittene tilhørende topafdækning, er der foretaget nedenstående estimering af de totale omkostninger for design, projektering, udbud, tilsyn og efterfølgende dokumentation for opnået reduktion af metanemission.



Figur 16. Omkostninger til etablering af biocover som funktion af reduktion af metan emission

Den opnåede reduktion af metanemission er biocover, der er etableret med en moden kompost af have- og parkaffald med metan oxidationskapacitet på 0,075 kg CH₄/døgn/m² i et 0,8 m lag oven på 0,3 m gasfordelingslag af neddelte beton. Det svarer til at 320 m² biocover reducerer metanemission med 1 kg/time.

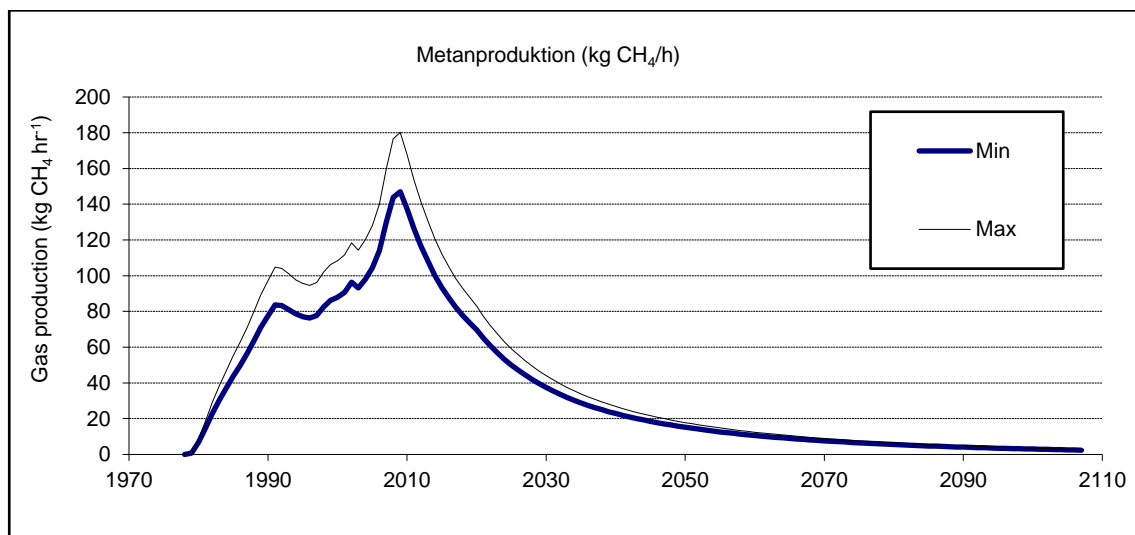
4.3 Solgård Affaldsplads – MOVAR IKS

Deponiet eies og drives af MOVAR og er lokaliseret i Moss kommune.

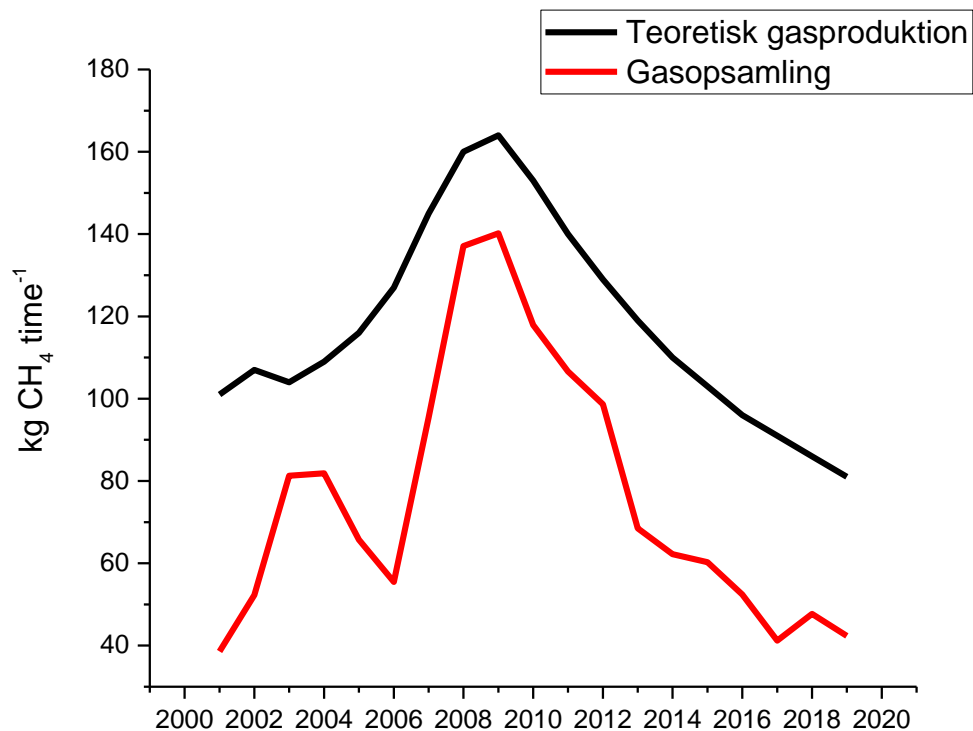
Deponiet blev etableret i 1978 og er fortsat i drift. Siden opstart af deponiet og frem til og med 2021 er det totalt deponet ca. 2 270 000 ton affald. Det er et deponi for ordinært affald, hvor det siden opstart er taget imod både husholdningsaffald og næringsaffald. Deponiet har hovedsagelig horisontale deponigasbrønne på de områder af deponiet hvor der forventes gasproduktion. Ca. 95 % af gassen benyttes til varme, mens resten affakles.

4.3.1 Modellering af teoretisk metanproduktion

Ifølge affaldsopgørelser for Solgård deponi, er der deponeret ca. 1.186.647 tons affald med organisk indhold, primært bestående af kommercielt affald (78%), husholdningsaffald (13%), og slam (5%). Husholdningsaffaldet er deponeret i den tidlige fase af deponiets levetid fra 1978 til 1990. Figur 17 viser den modellerede gasproduktion, og det ses at produktionen toppede i 2009 med en produktion på 164 kg/time og nu er i en aftagende fase. Generelt ses de højeste opsamlingseffektivitet (71 til 92%) for perioden med den største gasproduktion (2007-2013). Den modellerede gasproduktion er behæftet med stor usikkerhed, grundet usikkerhed omkring affaldsmængder, affaldsfraktioner samt gaspotentialer og nedbrydningskonstanter for de deponerede affaldsmængder og typer. Generelt stemmer de beregnede gasproduktioner pænt overens med de registrerede opsamlede mængder (Figur 18). Det ses at opsamlingseffektiviteter generelt er mellem 41 og 92 %, hvilket stemmer godt overens med, hvad der er forventeligt. I 2019 er gasproduktionen modelleret til 81 kg/time, mens gasopsamlingen er registreret til 42 kg/time, hvilket giver en opsamlingseffektivitet på 52%.



Figur 17. Gasproduktion og gasprognose (kg CH₄/time) for perioden 1978 til 2108 modelleret af affaldsmængder og affald kategorier.



Figur 18. Gasproduktion og gasopsamling (kg CH₄/time) for perioden 2001 til 2019.

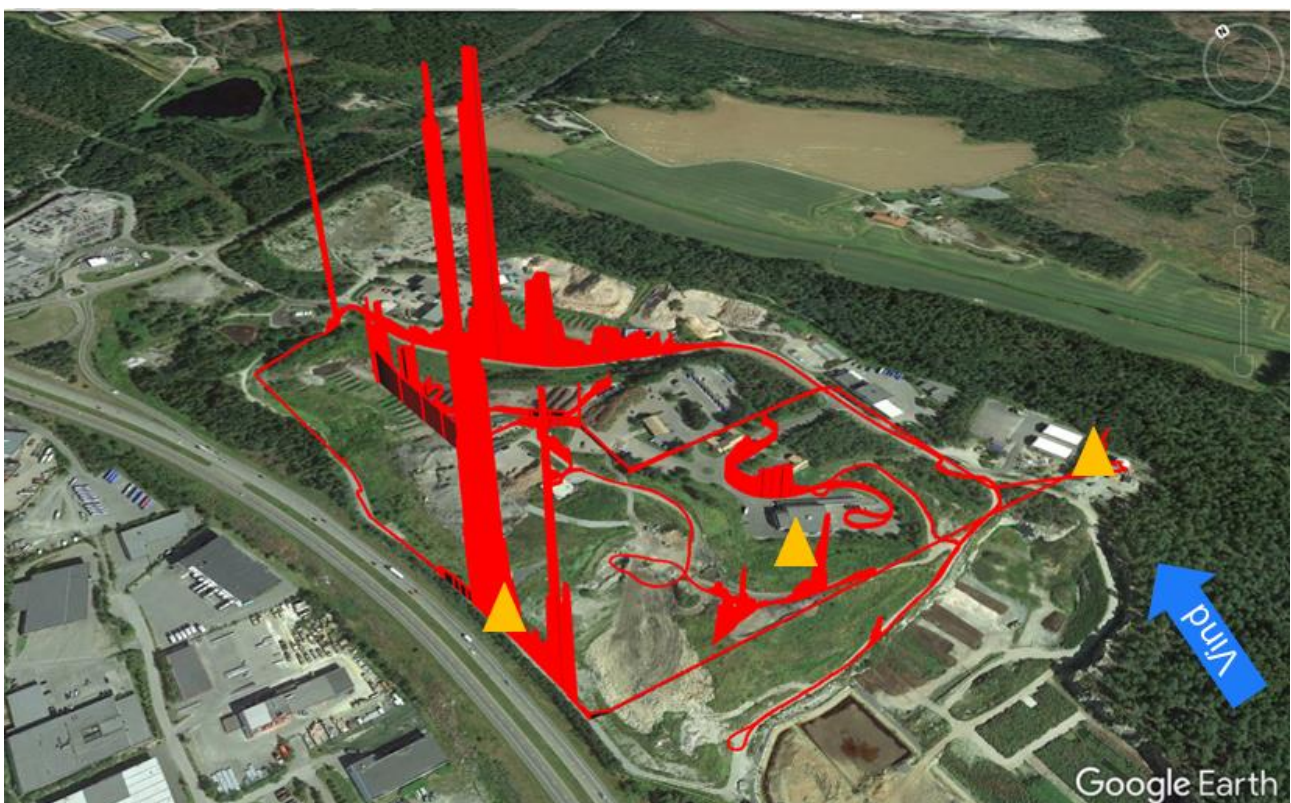
Den relative store gasindvinding omkring 2010, sammenlignet med 2019, indikere af vurderingen af affalds-informationen ikke har været optimal, da det vurderes at gasindvindingssystemet fungerer godt.

4.3.2 Mobil screening for metanudslip samt måling af den totale emission

Figur 4 og Figur 5 viser resultaterne af de mobile screeninger foretaget på deponiområdet for at lokalisere de steder hvor der emitteres metan. Figureerne viser også hvor flasker med sporgas var placeret.

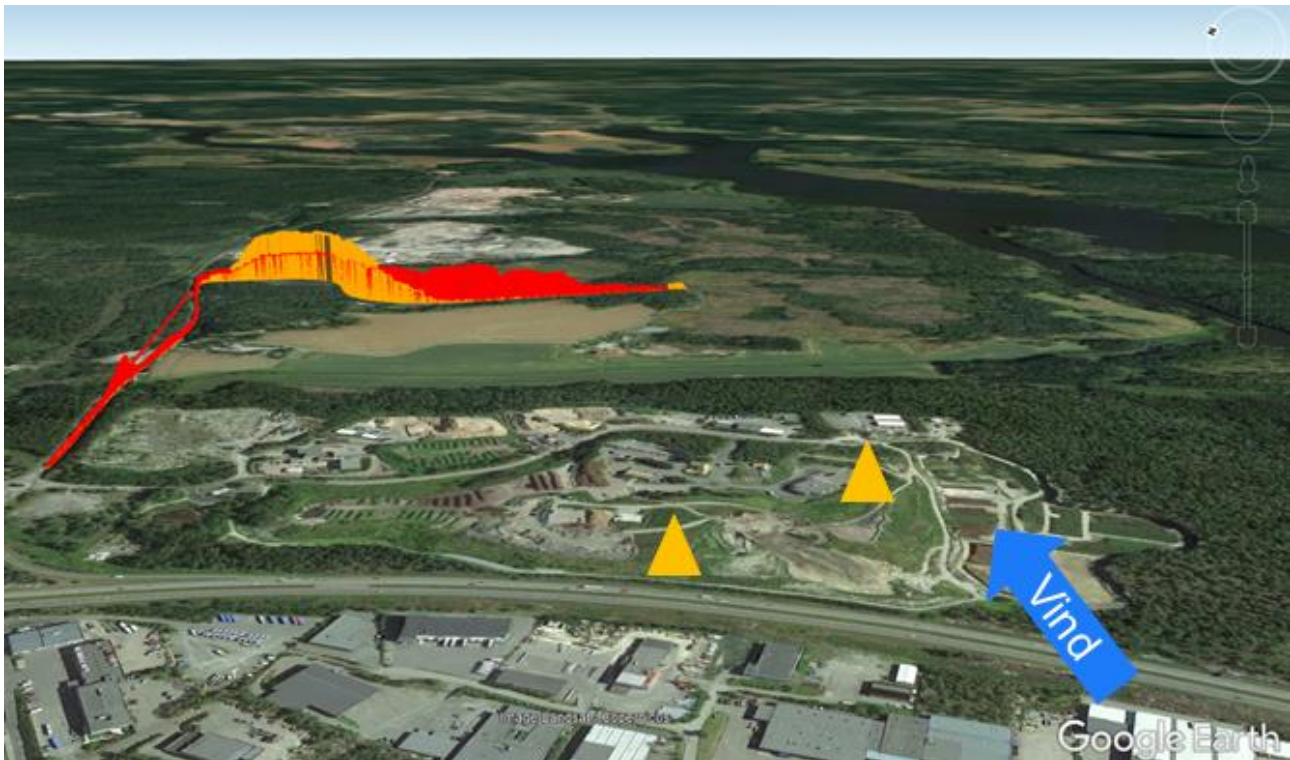


Figur 19. Kort over Solgård deponi. Rød markerer den relative metan koncentration over baggrunds-koncentrationen målt d. 22. november 2021 og giver et billede af, hvor metanen emitteres fra på måledagen. Gule trekkanter markerer, hvor sporgas flasker var placeret.



Figur 20. Kort over Solgård deponi. Rød markerer den relative metan koncentration over baggrundskoncentrationen målt d. 12. maj 2022 og giver et billede af, hvor metanen emitteres fra på måledagen. Gule trekanter markerer, hvor sporgas flasker var placeret.

Totalmålingen af metan fra hele deponiet blev både i november 2021 og maj 2022 foretaget ca. 900 meter nord/nordøst for deponiet. Sporgas blev opsat på deponiet (se Figur 19 og Figur 20), hvor de højeste metan koncentrationer blev fundet ved screening rundt på deponiet. Figur 21 viser et plot af fanekonzentrationen af metan og sporgas efter, at baggrundskoncentrationen er trukket fra.



Figur 21. Metan- og sporgasfanen ca. 900 meter nedvinds fra Solgård deponi.

Tabel 9. Beregnede emissioner fra hver af fanetraverserne på målevejen ca. 900 m nordøst for Solgård deponi den 22. nov. 2021.

Tid (tt:mm)	Emission (kg time ⁻¹)
12:03	7,34
12:05	6,39
12:08	14,10
12:10	10,46
12:13	13,54
12:15	11,25
12:17	7,23
12:18	9,27
12:21	9,01
12:23	8,56

Standardafvigelse på enkeltmålingerne (1s)	2,62
Middelværdi af enkeltmålingerne	9,72
Usikkerheden på middelværdien (2s)*	2,22
Usikkerhed inkl. eksterne bidrag**	2,44

*) Usikkerheden på middelværdien angivet på 95% konfidensniveau.

***) Usikkerhedsbidrag fra kalibrering af måleudstyr, flowmetre og sporgas

Tabel 10. Beregnede emissioner fra hver af fanetraverserne på målevejen ca. 900 m nordøst for Solgård deponi den 24. nov. 2021.

Tid (tt:mm)	Emission (kg time ⁻¹)
9:30	7,75
9:32	6,74
9:36	8,09
9:38	8,47
9:41	9,97
9:44	11,46
9:07	9,43
9:10	8,24
9:12	9,49
9:14	10,82
9:16	10,13
9:18	9,72
9:21	7,84
Standardafvigelse på enkeltmålingerne (1s)	1,36
Middelværdi af enkeltmålingerne	9,09
Usikkerheden på middelværdien (2s)*	0,96
Usikkerhed inkl. eksterne bidrag**	1,34

*) Usikkerheden på middelværdien angivet på 95% konfidensniveau.

***) Usikkerhedsbidrag fra kalibrering af måleudstyr, flowmetre og sporgas

Tabel 11. Beregnede emissioner fra hver af fanetraverserne på målevejen ca. 900 m nordøst for Sålgård deponi den 11. maj 2022.

Tid (tt:mm)	Emission (kg time ⁻¹)
9:40	18,74
9:43	21,82
9:45	19,41
9:49	18,38
9:50	22,13
9:53	20,75
9:55	21,13
10:00	22,40
10:10	16,15
10:13	15,33

10:16	21,21
10:18	21,58
10:19	24,67
10:21	26,09
10:23	22,94
10:24	23,06
Standardafvigelse på enkeltmålingerne (1s)	2,85
Middelværdi af enkeltmålingerne	20,99
Usikkerheden på middelværdien (2s)*	1,77
Usikkerhed inkl. eksterne bidrag**	2,84

*) Usikkerheden på middelværdien angivet på 95% konfidensniveau.

***) Usikkerhedsbidrag fra kalibrering af måleudstyr, flowmetre og sporgas

Emissionen blev målt til:

22. nov. 2021: $9,7 \pm 2,4$ kg/time.

24. nov. 2021 $9,1 \pm 1,3$ kg/time.

12. maj 2022 $21,0 \pm 2,8$ kg/time.

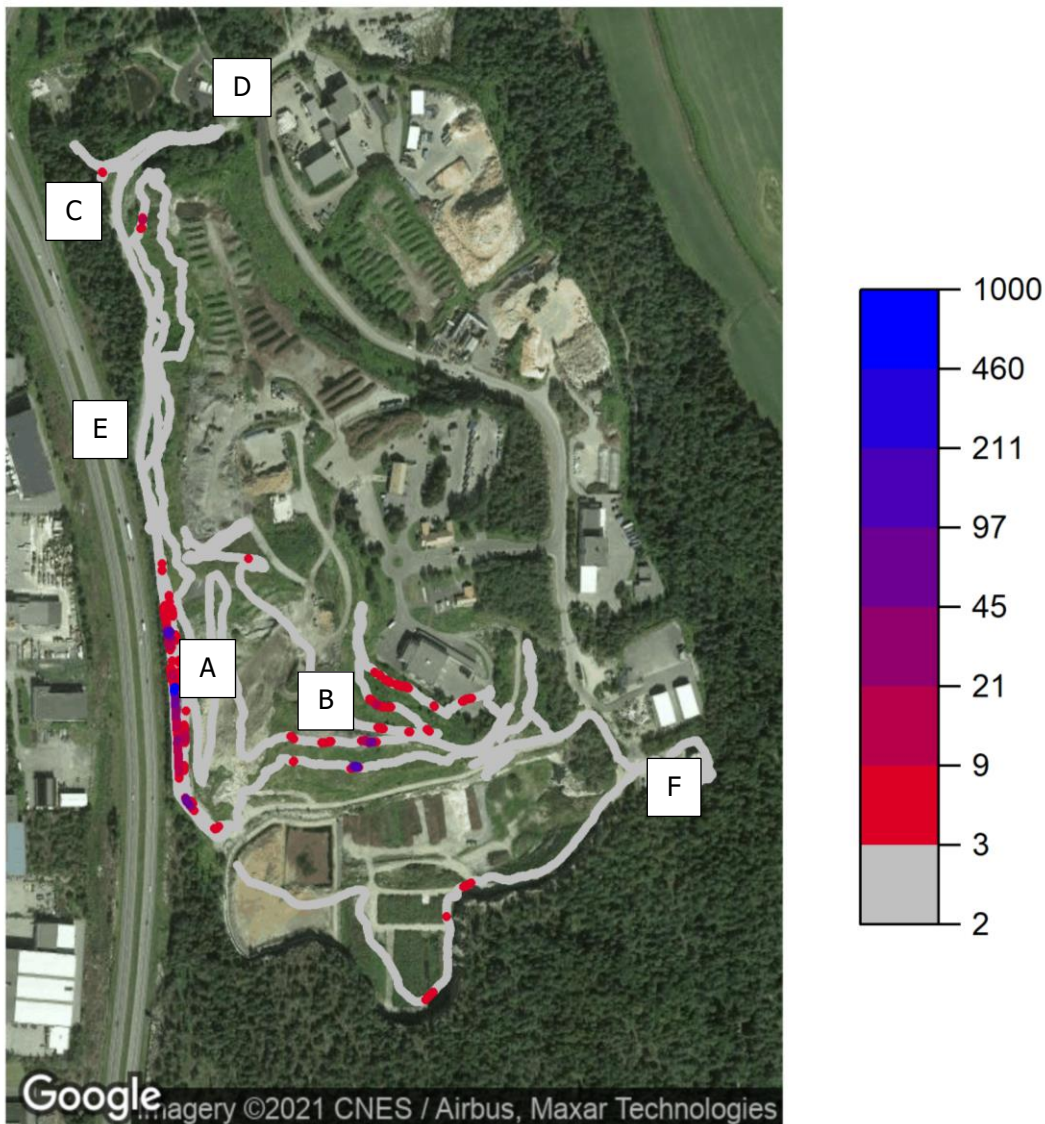
Målingerne viser mindre emissioner end forskellen imellem den teoretiske produktion og gasindvindingen. Selv hvis der antages en høj oxidation af metan i de øverste jordlag, så er den teoretiske produktion stadig meget for høj.

I Danmark lavede man, fra år 2016 og frem, en screening på ca. 200 deponier og efterfølgende emissionsmålinger på ca. 50 deponier. 25 af disse deponier blev udvalgt til at få økonomisk tilskud fra Miljøstyrelsen til at lave biocover. Kriterierne for mulig støtte var at deponierne emitterede mere end 6 kg/time.

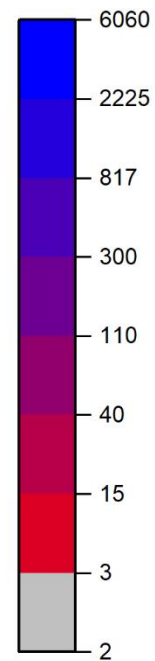
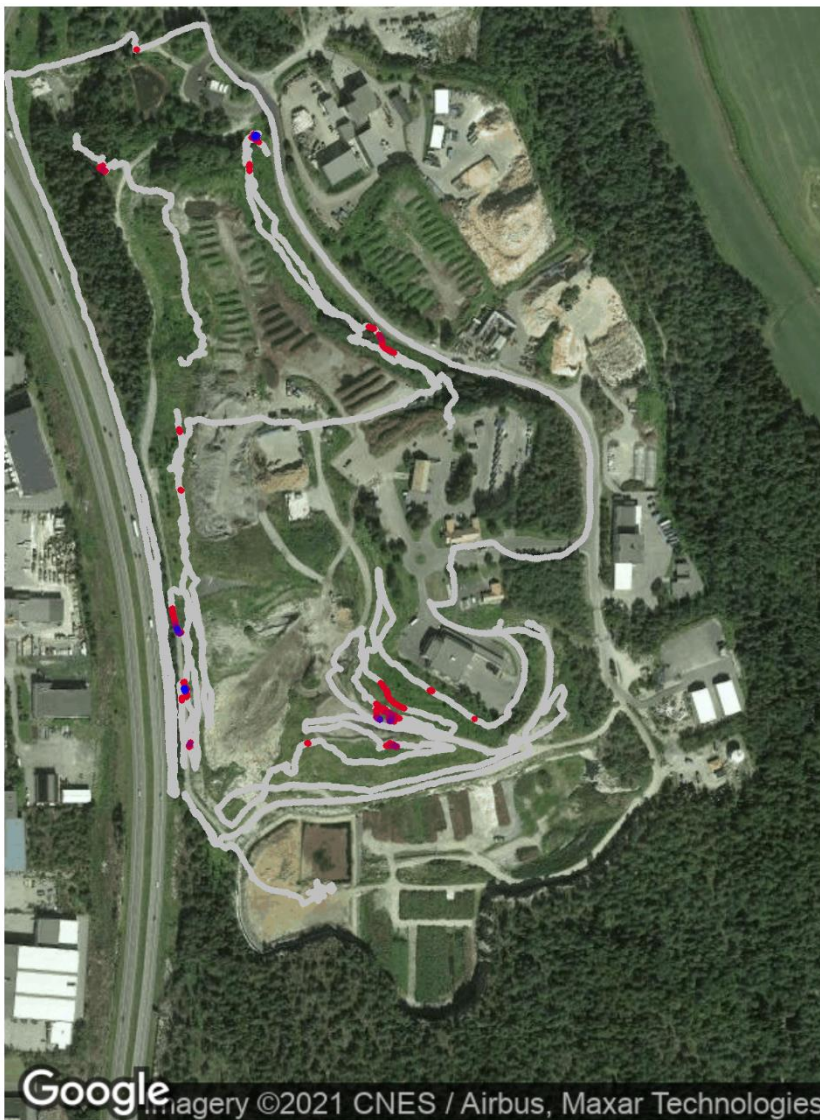
Emissionerne fra Solgård er altså store nok til at man i det Danske projekt ville gå videre med yderligere tiltage for at minimere emissionen.

4.3.3 Overfladescreening

Figur 22 og Figur 23 viser resultater af overfladescreeninger gjort med håndholdt udstyr som beskrevet i afsnit 3.4. Når der måles koncentration af metan nær atmosfæreniveau, vises dette med grå i figuren, for at fremhæve de områder hvor der måles forhøjet metan, hvilket er tegn på metanemission.



Figur 22. Resultat af overfladescreening udført i målekampagne 1 udført 22. nov. 2021. Røde og blå farver markerer hvor der er målt forhøjet metan. Værdier for koncentrationer angivet i skalaen er parts per million (ppm). Bogstaver i figuren (A, B, C...) henviser til områder beskrevet nærmere.







Figur 23. Resultat af overfladescreening udført i målekampagne 2 udført 11. maj 2022. Røde og blå farver markerer hvor der er målt forhøjet metan. Værdier for koncentrationer angivet i skalaen er parts per million (ppm).



Tabel 12 beskriver observationer for de forskelle områder angivet med A, B, C, osv. i figurene. Disse steder er dels områder, hvor der blev målt forhøjet metan, og dels områder, der potentielt kunne være årsag til udledning.

Tabel 12. Beskrivelse af forskellige steder, hvor der måltet forhøjet metan samt øvrige interesseområder på Solgård deponi.

Sted	Beskrivelse af sted og observationer	Evt. foto
A	<p>Skråning og gasbrønd (G1). Der måltet forhøjet metan ved brønde (op til flere 1000 ppm), samt ved jorden nær brønde. Det vurderes, at der er en del metanemission fra denne del af deponiet.</p>	
B	<p>Jordafdækning. Der blev målt forhøjet metan ved jordafdækning flere steder i området (op til ca. 100 ppm).</p>	
C	<p>Nordvestlig del af deponi. Der var oplyst, at der kunne lugtes deponigas til tider i denne del af deponiet. Ved første målekampagne blev der ikke målt væsentlig forhøjet metan i området, men ved anden målekampagne blev der målt let forhøjet metan i installation på billedet (kum OV5) (op til ca. 10 ppm)</p>	

D	<p>Mindre Installation (stakekum for sigevannsledning). Der blev målt væsentlig forøget metan ved mindre installation (flere 1000 ppm).</p>	
E	<p>Skråning med vej E6. Der blev ikke målt forøget metan på skråningen uden for hegnet mod den nærliggende vej E6.</p>	
F	<p>Gaslager (gasklokke og område omkring). Der blev ikke målt forøget metan ved gaslager. Der er blev ikke set tegn på utæthed.</p>	

4.3.4 Sammenfatning af resultater fra Solgård deponi

Den 22. nov. 2021 og d. 24. nov. 2021 blev der målt under de samme forhold og med ca. samme resultat. Målingen d. 11. maj 2022 viste mere emission end i nov. 2021. Gasindvindingen kørte ved alle tre målinger, så den primære forskel vurderes, at skyldes de atmosfæriske forhold. D. 11. maj 2022 var der et faldende atmosfærisk, hvilket midlertidigt kan give forhøjet emission. Den mobile screening d. 22. nov. 2021 viste emission fra slambunkerne på deponiets sydlige del. Det vurderes at være meget lidt metan der kommer fra slambunkerne. De relative høje koncentrationer målt i screeningen skyldes meget stille vejr og at bunkernes placering var sådan at vinden ikke kunne komme og fortynde i den givne vindretning.

Ved målingen i maj 2022 blev det forsøgt at afbrænde metan i faklen i dele af måleperioden for at se hvilken effekt dette havde på den totale emission. Afbrænding var kun i ca. 10 min. og der var derfor kun 4 traverser med målinger under affaklingen. Emissionen fra faklen og emissionen fra resten af deponiet kunne adskilles på målevejen og emissionen fra faklen var ca. 2 kg/time. Faklen fik tilført ca. 300 m³ deponigas med 25,7% metan, hvilket vil sige at den fik tilført ca. 55 kg CH₄/time. Slippet fra faklen var dermed ca. 4%. Overfladescreeningerne viste mange af de samme emissionspunkter i både november 2021 og maj 2022. Den primære emission vurderes at ske fra deponiets sydvestlige del samt på den sydlige skråning. Desuden er der et par brønde/boringer med emissioner.

4.3.5 Forslag til tiltag for at minimere metanemission fra Solgård deponi

Emissionen fra Solgård foregår både fra punktkilder og mindre arealer på skråninger og andre overflader af deponiet. Der er emissioner flere steder på deponiet, men mest fokuseret på deponiets sydvestlige del samt den sydlige skråning. Anlægget har et meget velfungerende gasopsamlingsanlæg og det vurderes ikke at være et defekt anlæg, der giver anledning til emissioner. Da flere af de observerede emissioner er samlede i samme område, er der potentiale til at en indsats til at minimere metan udslippet til atmosfæren kan have stor effekt.

Potentialet for yderligere indvinding af metan er altid vanskeligt at vurdere på ældre deponier. Den beregnede metanproduktion, ud fra information om deponeret affald, passer godt på gasindvindingen omkring 2010 men ikke senere. Dette kan skyldes upræcise informationer om affaldet, men kan også meget vel skyldes at der er antaget nogle organiske fraktioner i de forskellige affaldstyper og at dette kan variere meget fra sted til sted og fra land til land. Det vurderes derfor, at det bedste tal for hvor meget metan der produceres i deponiet fås ved at sammenholde gasindvindingen med de faktiske målinger. Ved emissioner på omkring 10 kg/time (første målerunde) er der ikke meget ekstra metan at indvinde ved at udvide det eksisterende gasanlæg. På baggrund af dette giver vi det følgende forslag til håndteringen af den metan der ikke opsamles.

4.3.5.1 Detaljeret forslag til tiltag med tilhørende prisoverslag

På grundlag af nærværende kortlægning af metanemissionen med tilhørende beskrivelse samt efterfølgende indhentede oplysninger og tegninger er det nødvendigt at opdele tiltagene i 2 etaper.

Som første etape gennemføres følgende som forudsætning for detail projektering af "biovinduer" og bioco-ver med tilhørende budget:

1. Årsag til utæthed i gassystem ved skråning og gasbrønde (A) skal afklares inkl. om metanemission i området har flere årsager. Utætheden i gassystem skal udbedres. Brønde i perkolatsystem i deponi-afsnittet skal undersøges nærmere om nødvendigt gøres gastætte og forsynes med vandlås.

2. Færdigopfyldte områder på det nuværende deponiområde (B) skal have supplerende slutafdækning. Såfremt miljøtilladelsen tillader det, så kan der med fordel foretages supplerende slutafdækning med min 0,6 m egnet råjord og overliggende min 0,4 m vækstlag med 50 % kompost, så gasindvindingsanlægges effektiviseres og eventuel emission af metan oxideres i vækstlaget.

På baggrund af ovenstående beskrivelse er der udarbejdet et anlægsoverslag. Overslaget er relativt usikkert, da dimensioner og dybder af brønde, samt omfanget af utætheder skal klarlægges bedre, særligt ved gassystem (A). Der er taget udgangspunkt i at utætte brønde tættes evt. med en tætindsats og nye topringe med dæksler. Arealer der skal have supplerende slutafdækning er skønnet på baggrund af oversigtskort.

Post	Enhed	Mængde	Pris (DKK)
Byggeplads	stk	1	45.000
Udbedringer, gassystem (A)	stk	5	550.000
Tætning af brønde m.m.	stk	2	210.000
Supplerende slutafdækning (B)	m ²	4.000	500.000
Diverse 15%			195.000
I alt			1.500.000

Som supplerende undersøgelse skal der forud for projekteringen gennemføres en besigtigelse med registrering af brønde og arealer m.m.

På baggrund af besigtigelse og registrering kan der gennemføres en projektering og udbud. Derudover skal der udføres tilsyn i forbindelse med udførelsen. Tilsyn forventes primært af bestå af tilsyn i forbindelse med byggemøder.

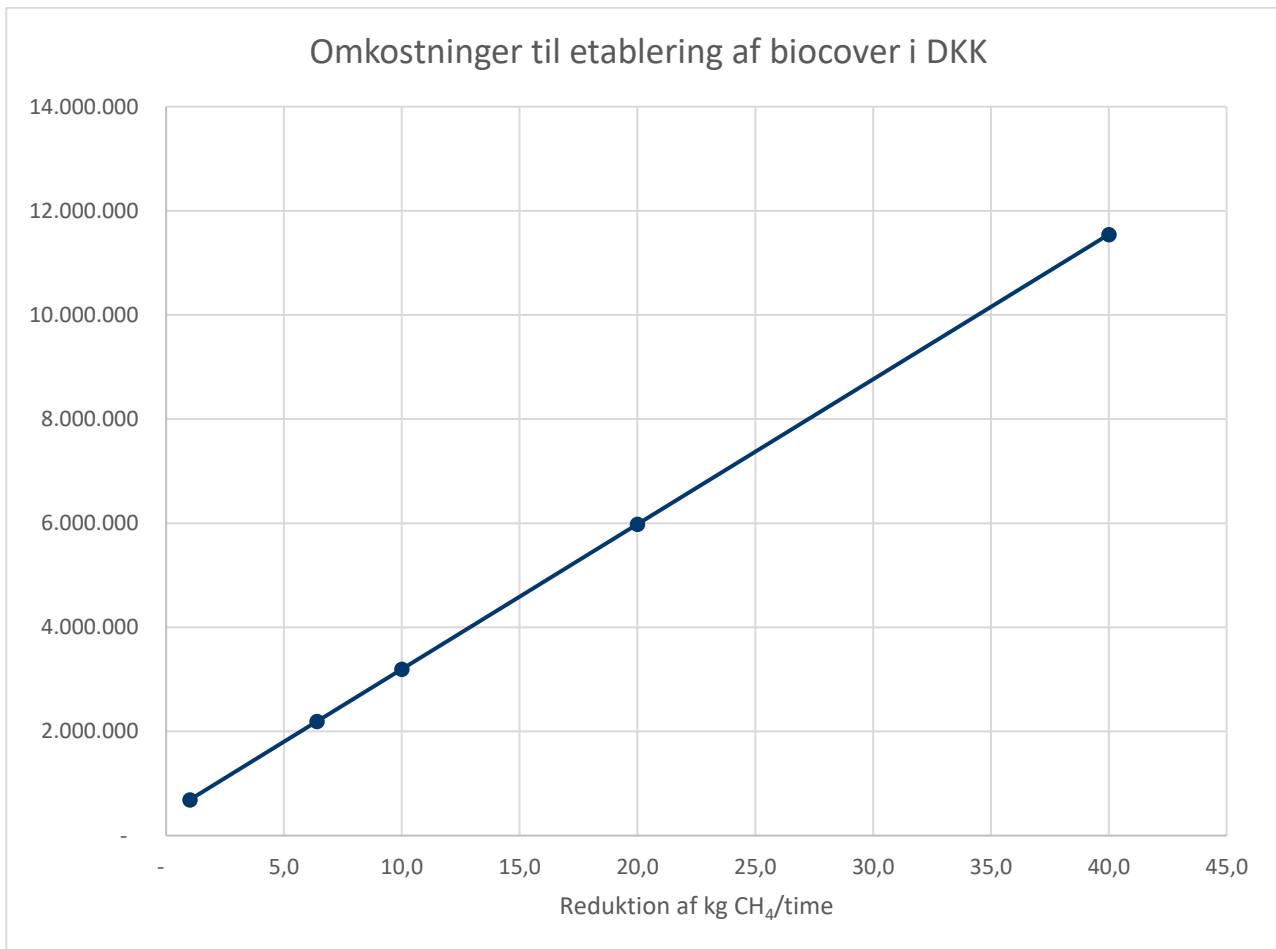
Post	Pris (DKK)
Supplerende undersøgelser for projekteringen	55.000
Projektering og udbud	115.000
Tilsyn	50.000
I alt	220.000

Når ovenstående udbedringer og forbedringer er gennemført, skal der ca. 3 måneder efter gennemføres ny totalmåling og screening af metanemission som grundlag for dimensionering og placering af "biovinduer" og biocover.

En totalmåling og screening af metanemission koster ca. 75.000 DKK, såfremt der ikke er andre samtidige målinger på deponier i området.

Anden etape er udarbejdelse af detailprojekt og budget med henblik på at opnå en total metanemission mindre end 2 kg CH₄/time.

På grundlag af Rambølls erfaringer fra 3 projekter i Danmark med reduktion af metanemission fra deponier, hvor der tidligere er deponeret organisk affald af forskellige kategorier og efterfølgende er foretaget nedlukning af deponiafsnittene tilhørende topafdækning, er der foretaget nedenstående estimering af de totale omkostninger for design, projektering, udbud, tilsyn og efterfølgende dokumentation for opnået reduktion af metanemission.



Figur 24. Omkostninger til etablering af biocover som funktion af reduktion af metan emission

Den opnåede reduktion af metanemission er biocover, der er etableret med en moden kompost af have- og parkaffald med metan oxidationskapacitet på 0,075 kg CH₄/døgn/m² i et 0,8 m lag oven på 0,3 m gasfordelingslag af neddelt beton. Det svarer til at 320 m² biocover reducerer metanemission med 1 kg/time.

5 Referencer

Foster-Wittig, T. A., Thoma, E. D., Green, R. B., Hater, G. R., Swan, N. D., & Chanton, J. P. (2015). Development of a mobile tracer correlation method for assessment of air emissions from landfills and other area sources. *Atmospheric Environment*, 102, 323–330.

Fredenslund, A. M., Scheutz, C., & Kjeldsen, P. (2010). Tracer method to measure landfill gas emissions from leachate collection systems. *Waste Management*, 30(11), 2146–52.

Kissas, K., Ibrom, A., Kjeldsen, P., Scheutz, C. (2022). Methane emission dynamics from a Danish landfill: The effect of changes in barometric pressure. *Waste Management*, 138, 234-242.

Mønster, J. G., Samuelsson, J., Kjeldsen, P., Rella, C. W., & Scheutz, C. (2014). Quantifying methane emission from fugitive sources by combining tracer release and downwind measurements - A sensitivity analysis based on multiple field surveys. *Waste Management*, 34(8), 1416–1428.

Mønster, J., Samuelsson, J., Kjeldsen, P., & Scheutz, C. (2015). Quantification of methane emissions from 15 Danish landfills using the mobile tracer dispersion method. *Waste Management*, 35, 177–186.

Mønster, Jacob. Quantifying greenhouse gas emissions from waste treatment facilities. Ph.d. afhandling udgivet ved Danmarks Teckniske Universitet 2015.

Scheutz, C., Samuelsson, J., Fredenslund, a M., & Kjeldsen, P. (2011). Quantification of multiple methane emission sources at landfills using a double tracer technique. *Waste Management*, 31(5), 1009–1017.

Yoshida, H., Mønster, J., & Scheutz, C. (2014). Plant-integrated measurement of greenhouse gas emissions from a municipal wastewater treatment plant. *Water Research*, 61, 108–118.

Bilag A Effekten af atmosfæriske forhold

Emissionen af metan fra et deponi vil variere med de atmosfæriske forhold. Specielt ændringer i det atmosfæriske tryk har vist sig at have indflydelse på emissionen. Flere studier igennem tiderne har forsøgt at kvantificere denne variation, men det er en vanskelig størrelse at måle, da der skal måles over længere tid og målinger er den totale emission fra et deponi ofte ikke er mulig at monitorere kontinuert over længere tid. For nylig har DTU (Kissas et al. 2022) udført intensive målinger med sporgasmetoden på et ældre, afsluttet deponi. Figuren nedenfor viser den målte emission som følge af ændringen i det atmosfæriske tryk. Det ses at der ved store trykfald er meget højere emissioner end ved neutrale tryk eller stigende tryk. Det må forventes at der er stor forskel på hvordan forskellige deponier reagerer på ændringer i det atmosfæriske tryk, men undersøgelsen belyser meget godt, at man ikke blindt kan sammenligne målinger på et deponi uden også at se på de atmosfæriske forhold.

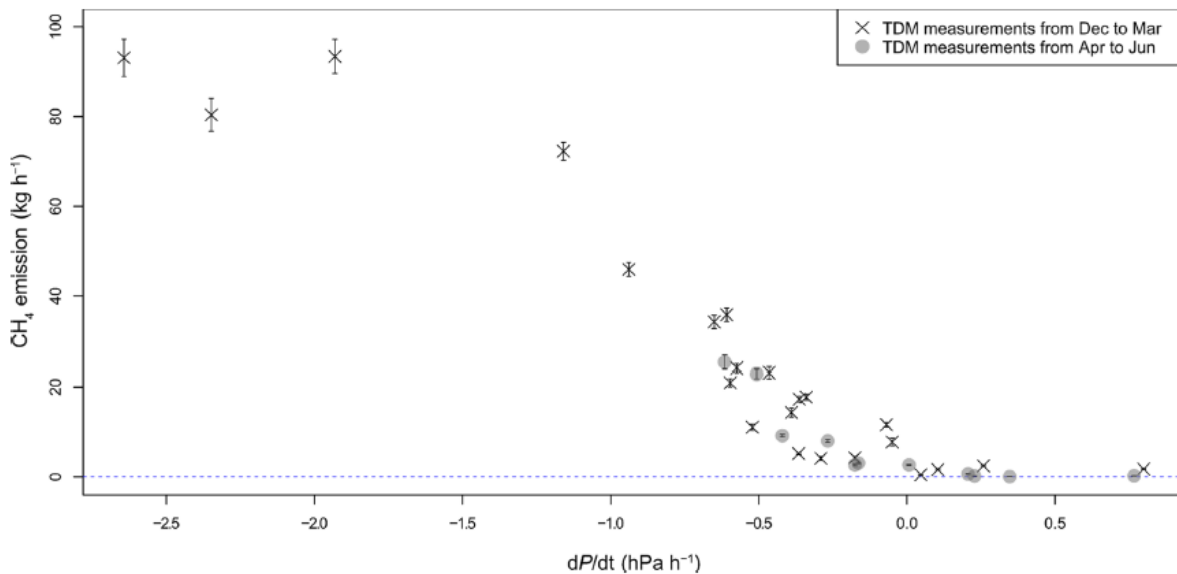


Fig. 5. The response of CH₄ emissions to dP/dt. Crosses and circles represent measurements performed from December to March and from April to June, respectively. Error bars depict the variability of the measurements calculated as the standard error of the mean.