

REGION HOVEDSTADEN

OPDATERING AF SMCI 2026

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Indledning	2
2	Inversionen	2
2.1	Datagrundlag	2
2.2	Inddeling i modelblokke	6
2.3	Modellag	8
2.4	Generelle problemer	8
3	Leverance	9
4	Konklusion	9
5	Referencer	10
Bilag A	Anvendte parametre	11

PROJEKTNR.

A298446

DOKUMENTNR.

A298446-SMCI-02

VERSION

2.0

UDGIVELSESDATO

15. april 2026

BESKRIVELSE

Fase 2 rapport til opdateret
SMCI

UDARBEJDET

DBSZ

KONTROLLERET

SWN

GODKENDT

PGGI

1 Indledning

Region Hovedstaden har i 2019 med en opdatering i 2023 fået udført en integreret geofysisk/geologisk kortlægning i hele regionen. Kortlægningen omfatter udvalgte eksisterende geofysiske data fra den nationale geofysiske database GERDA og er udført med en inversionsteknik kaldet Spatial MCI (Mutually Constrained Inversion). Denne teknik kan kombinere forskellige geofysiske datatyper og sammenbinde dem (constrained) samtidig med, at den kan inddrage geologisk information fra boringer i den geofysiske inversion. Resultatet er en resistivitetsmodel der beskriver jordens elektriske modstand, som igen afhænger af jordartsforholdene.

Modellen er beskrevet i rapporten *Integreret tolkning af geofysik og boringer med Spatial MCI* (COWI, 2019) samt notat til *Opdatering af SMCI 2023* (COWI, 2023).

Denne opdaterede SMCI fra 2026 er blevet udvidet med nye data fra den mellemliggende periode og tilføjet data fra et større antal TEM kortlægninger der alle var udeladt fra den oprindelige model af tekniske årsager.

Dette notat redegør i store træk for opdateringen af SMCI, hvor data leverancen udgør det primære leverance. Der henvises til de bagvedliggende SMCI rapporter fra 2019 og 2023 for yderligere oplysninger om data indeholdt i de tidligere leverancer (COWI, 2019 og 2023).

2 Inversionen

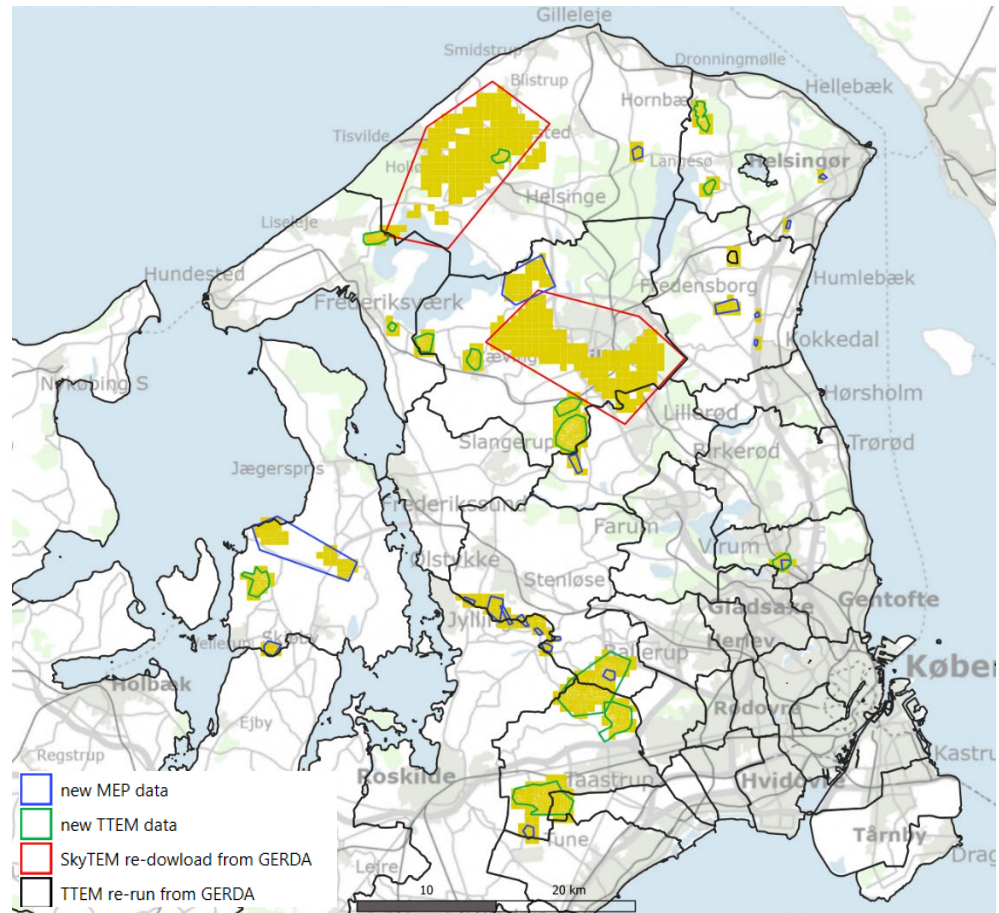
2.1 Datagrundlag

De nye geofysiske data der skal indgå i SMCI modellen består af ny geofysik fra fire kilder:

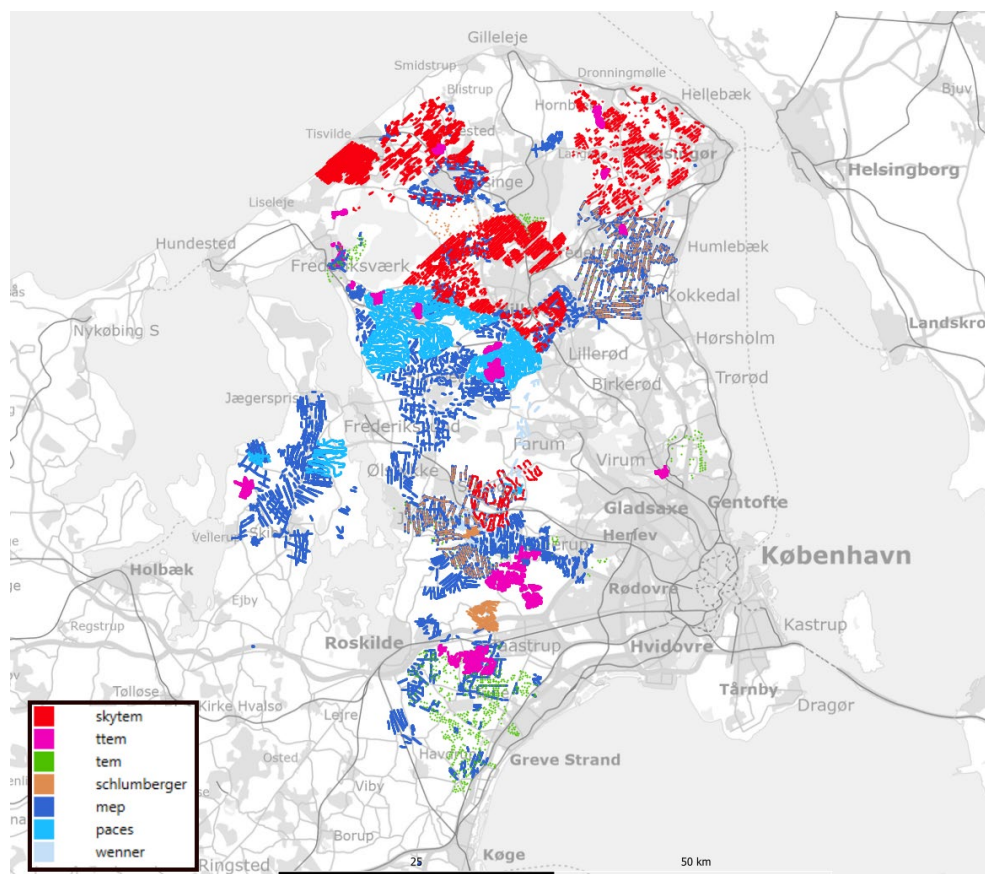
- > GERDA databasen
- > tTEM data fra WSP
- > tTEM data fra Rambøll
- > MEP data fra Energinet

Områderne med de nye data samt hvilke SMCI blokke der bliver lavet nye modeller for er visualiseret på kortet i Figur 1.

De nye data medfører at der er tilføjet nye eller lavet opdateringer til cirka 30% af området. I disse områder vil tilføjelse af de nye data medføre udfyldelse af huller i den tidligere model eller opdatering af modelområder for øget detaljeringsgrad. På Figur 2 ses fordelingen af datatyper for alle de data der er indgået i 2026 SMCI-modellen.



Figur 1 Kort over områder med de nye data, deres data type og SMCI model-blokke. Gule firkanter er SMCI blokke der opdateres.



Figur 2 Datagrundlag for 2026 SMCI-modellen fordelt på datatype.

Tabel 1 giver en liste over alle nye geofysiske data der er inkluderet i den opdaterede SMCI.

Tabel 2 giver en liste over ældre geofysiske data der ikke var inkluderet i den oprindelige SMCI som er blevet genvurderet og gjort tilgængelige til brug for den opdaterede SMCI.

Tabel 1 Oversigt over de nye geofysiske datasæt der indgår i den opdaterede SMCI.

Data type	Data leverandør	Data ident / Link til GERDA
tTEM	Rambøll / RH	Direkte leveret / Ikke i GERDA
tTEM	WSP	Direkte leveret / Ikke i GERDA
MEP	Energinet	Direkte leveret / Ikke i GERDA
MEP	GERDA / Rambøll	2723 dk.regionh.raastof-område61-mep
MEP	GERDA/COWI	2490 dk.regionh.Gillelejevej-MEP
MEP	GERDA/Rambøll	2722 dk.regionh.raastof-område48-mep
MEP	GERDA/Rambøll	2719 dk.regionh.raastof-område25-mep
MEP	GERDA/WSP	2776 dk.regionh.forurening-lyngby-soe
MEP	GERDA/Rambøll	2721 dk.regionh.raastof-område43-mep
MEP	GERDA/Rambøll	2718 dk.regionh.raastof-område24-mep
MEP	GERDA/Rambøll	2715 dk.regionh.raastof-område15-mep
MEP	GERDA/Rambøll	2720 dk.regionh.raastof-område27-mep
MEP	GERDA/WSP	2636 dk.regionh.forurening-Rugmarken10-MEP
MEP	GERDA/Rambøll	2717 dk.regionh.raastof-område23-mep
MEP	GERDA/Niras	2841 dk.vejdirektoratet.motorvej-frederikssund-mep
MEP	GERDA/Rambøll	2724 dk.regionh.raastof-hove-mep
MEP	GERDA/Rambøll	2716 dk.regionh.raastof-område18-mep
MEP	GERDA/Rambøll	2725 dk.regionh.raastof-stærkende-mep
tTEM	GERDA/WSP	2615 dk.kregme-vv.grv-lyngbyskov-tTEM
tTEM	GERDA/COWI	2657 dk.regionh.raastof-nrherlev-tTEM
tTEM	GERDA/WSP	2629 dk.regionh.forurening-Nyboelle-tTEM

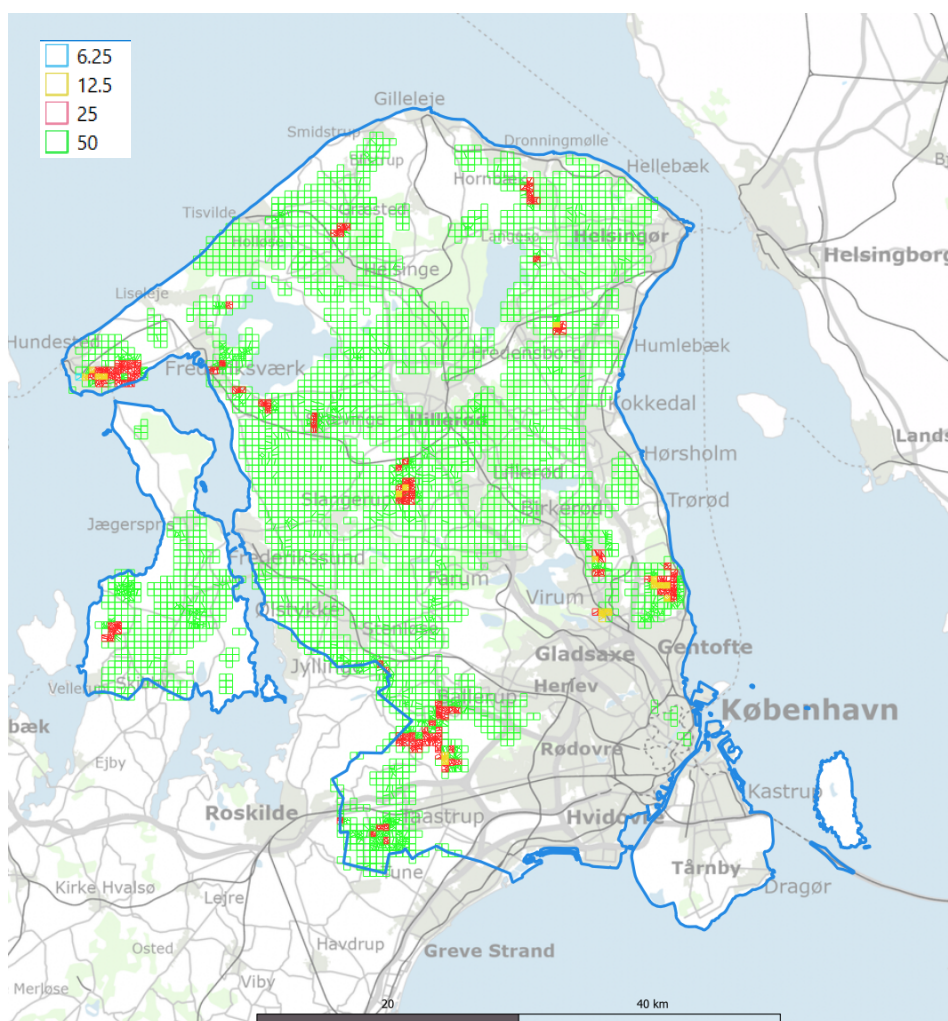
Tabel 2

Oversigt over geofysiske datasæt der ikke var inkluderet i SMCI opdateringen fra 2023, hvor tidligere dataproblemer er løst og de er inkluderet i den nuværende opdatering.

Data type	Data leverandør	Data ident
tTEM	GERDA/WSP	2521 dk.regionh.foruening-højsager-tTEM
SkyTEM	GERDA/COWI	2373 dk.mst.grundvand-gribskov-skytem
SkyTEM	GERDA/COWI	1852 dk.nst.roskilde.grundvand-hilleroed-skytem

2.2 Inddeling i modelblokke

Modellen er denne gang inverteret i 2.387 delblokke. Disse blev brugt til at udfylde de huller, der var tilbage fra sidste gang, eller til at geninvertere blokke, hvor der var kommet nye data tilgængelige, så de kunne erstatte deres tidligere indhold. I 2023 bestod modellen af 4.840 blokke. Det betyder, at der i alt var 7.237 delblokke (Figur 2) som bidrog med deres inversioner til det endelige resultat.

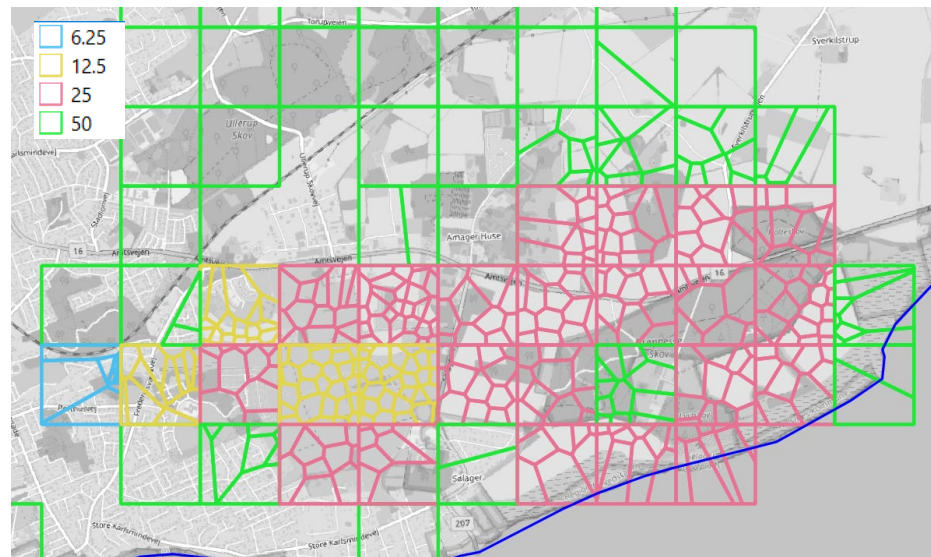


Figur 3

Modelblokinddelingen. Farvekode viser bredden af bufferzonen omkring modelblokken i meter.

De enkelte blokke har forskellig størrelse og bufferareal for at begrænse antallet af modelpositioner i hver blok til en størrelse, som inversionsprogrammet kan håndtere.

Delinversionerne inkluderer en overlappende bufferzone omkring hver blok for at sikre en sømløs overgang mellem blokkene. Da datatætheden i nogle områder er meget høj, har det været nødvendigt at reducere bredden af bufferzonen i disse områder. Et eksempel på reducerede bufferzoner er vist i Figur 3.

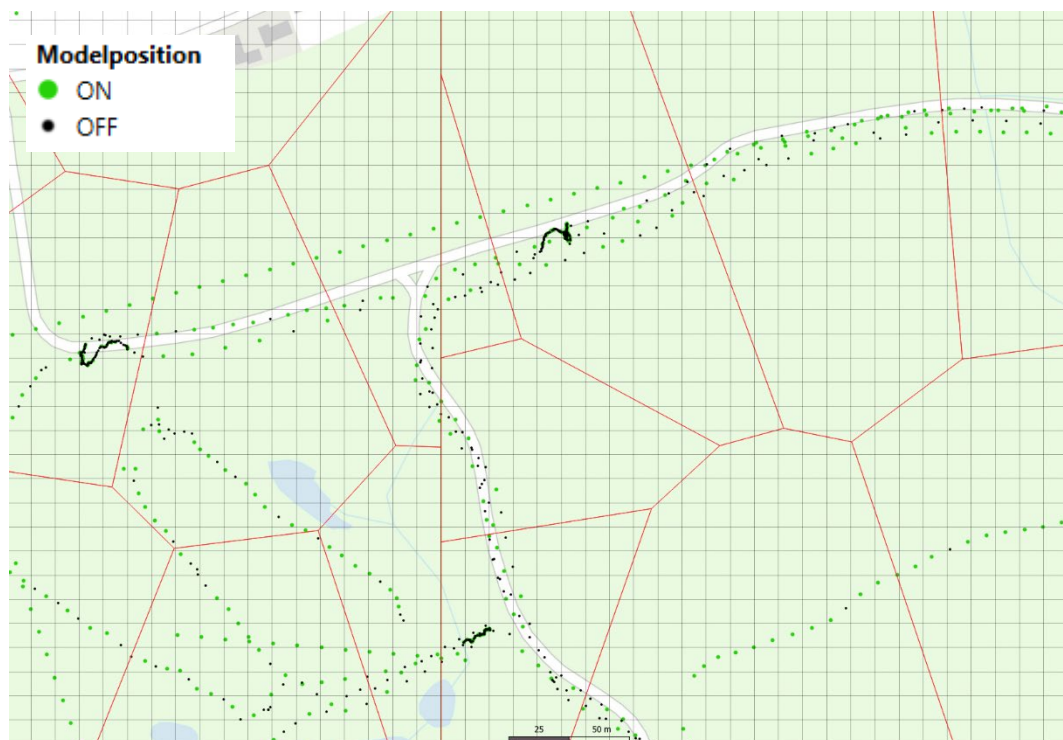


Figur 4 Eksempel på område, øst for Hundested, med reducerede bufferzoner pga. høj datatæthed.

I de tTEM-områder med højest datatæthed, hvor de parallelle linjer lå meget tæt, tættere end 30 m, og hvor der er målepunkter for ca. hver 5 meter, var vi nødt til at reducere datatætheden. Teknisk set kan vi godt håndtere mange små inversionsblokke, men de risikerer at blive "låst inde" uden tilstrækkelige constraints fra de omkringliggende kortlægninger. Der var områder, hvor tTEM-ATV'en har kørt flere gange ad den samme sti på grund af lukkede veje eller svært terræn, hvilket har skabt flere identiske punkter oven i hinanden.

Derfor har vi valgt at bibeholde ét tTEM-datapunkt pr. 10×10 m celle – nemlig det punkt, der har den dybeste datalog inden for sin celle (Figur 4). Det sikrer, at vi skaber større sammenhængende polygoner, som er mere åbne mod deres omgivelser. Samtidig mister vi ikke viden om undergrunden gennem de fraserterede punkter, da punktætheden er så høj, at vi stadig opnår pålidelige inversionser. Det blev gjort kun med tTEM data, og kun i de områder der havde den højeste datatæthed.

Opdelingen i blokke med overlappende bufferzoner sikrer en stabil og sammenhængende inversionsrutine og resulterende høj kvalitetsmodel for hele undersøgelsesområdet.



Figur 5 Aktive og inaktive tTEM-punkter inden for et lille område. Det grå grid viser det 10×10 m gitter, der blev anvendt til at reducere antallet af aktive punkter. Efter datamængden blev reduceret, blev inversionsblokkene (røde) genereret.

2.3 Modellag

Da der er inkluderet SkyTEM data i modellerne fra både 2023 og 2026 har det været nødvendigt at benytte det øverste modellag som luftlag. Det betyder at de anvendelige lag i modellen er reduceret fra 19 til 18. Lag 18 blev ikke eksporteret, da det hverken har bund eller tykkelse defineret, hvilket var et krav for visualiseringens indstillinger. Det samme gjorde sig gældende for lag 19 i 2019 modellen. Lag 18 indgik dog i selve inversionen. Der afleveres derfor 17 middelmodstandskort. Laggrænserne er beskrevet i Bilag A.

Reduktionen fra 19 til 18 geologiske lag for modellen gør at stigningen i lagtykkelse ned gennem modellen foregår lidt hurtigere. De nye lagtykkelser er stadig under den tykkelse som datagrundlaget kan opløse, så det medfører ikke noget konsekvens for modellens opløsning og præcision.

2.4 Generelle problemer

De databaser, som kom direkte fra rådgiverne, havde ikke været igennem GERDA KS og havde mangelfuld databehandling eller behandling i forskellige processeringsstadier. Vi har også fået usikre oplysninger om de første og sidste anvendte gates, hvilket har medført langsom datakontrol og fejlsøgning for at sikre, at de endelige versioner, vi indlæser, indeholder alle de processerede gates, men ingen af de fravalgte.

Databaser downloadet fra GERDA er oprettet i GERDA formatet men har i et vist omfang manglende oplysninger. Disse mangler kan i de fleste tilfælde henføres til kendte fejlkilder som er screenet i fase 1 og kan tilrettes med de udviklede datakontrollværktøjer.

Der var ingen egentlig dataprocessering, men der var tilfælde inden for de forskellige datatyper, hvor inversionen ikke kunne gennemføres på de tilgængelige data, og vi var nødt til at deaktivere enkelte datapunkter eller kortere stæknin-ger. Det forekom sporadisk for både nye og gamle data tilhørende datatyperne for SkyTEM, tTEM, MEP og PACES. Antallet af datapunkter, der blev deaktiveret på denne måde, udgjorde under 1 % af det samlede datagrundlag og var spredt tilfældigt over hele regionen. Dette medførte manuel fejlsøgning og efterføl-gende behandling.

Udelukkelsen af den begrænsede mængde af datapunkter har ikke haft nogen indvirkning på den endelige fladedækkende model.

3 Leverance

Modellen leveres i to formater:

- > Rastergrid i tiles for hvert modellag, med tilhørende QGIS farveskala i qqr fil og et workspace med lagene sat op. I workspacet er der også alle de nye modelpositioner (brugte(on) og ikke brugte (off)), datatyper (SkyTEM, tTEM, TEM, Schlumberger, MEP, Paces, Wenner), samt de gamle og nye in-versionsblokke.
- > GeoScene3D data som:
 - > MS Access – RH_2026_SMCI.accdb
 - > Spatialite – data ligger i disse 5 tabeller
 - GEOSCENE2022 – geoscene data fra 2022
 - GEOSCENE2026 - geoscene data fra 2026
 - geoscene – samlet geoscene data fra de to år.
 - invblock – inversionsblokke både fra 2022 og 2026
 - modelposition – datapunkter fra 2026.

4 Konklusion

Der er udført en opdatering af den geofysiske resistivitetsmodel dækkende Re-gion Hovedstaden. Modellen er baseret på inversionsteknikken Spatial Mutually Constrained Inversion. Modellen bygger videre på den seneste model fra 2023 og er blevet opdateret med nye geofysiske data, der er blevet tilgængelige frem til januar 2026.

5 Referencer

COWI. (2019). *Integreret tolkning af geofysik og boringer med Spatial MCI (dokument nr. A108531-02)*. COWI A/S for Region Hovedstaden.

Bilag A Anvendte parametre

Anvendt ligning for horisontale bindinger i inversionen (*constraints*):

$$(1) \quad \begin{aligned} \text{constraint} &= 0,15 + \frac{0,0004}{(x-5)^2} \text{ for } x \geq 5 \\ \text{constraint} &= 0,15 \text{ for } x < 5 \end{aligned}$$

Der er anvendt en mange-lagsmodel med 18 lag med faste laggrænser og et hjælpelag i toppen brugt som luftlag for SkyTEM målinger. Tykkelsen af lagene vokser logaritmisk med dybden. I Tabel 3 er givet en oversigt over den anvendte mangelagsmodel med angivelse af lagnummer, dybde til top af lag, dybde til bund af lag, lagtykkelse for hvert enkelt lag samt den vertikale binding på resistiviteten. Bemærk at nederste lag er uendelig tykt og derfor ikke har nogen bund eller tykkelse.

Tabel 3 Modellag i den udførte Spatial MCI. Dybde er angivet i meter under terræn (mut).

Lag	Top [mut]	Bund [mut]	Tykkelse [m]	Vertikal constraint
1	0.0	1.0	1.0	0.2
2	1.0	2.3	1.3	0.2
3	2.3	3.8	1.6	0.2
4	3.8	5.8	2.0	0.2
5	5.8	8.4	2.5	0.2
6	8.4	11.5	3.2	0.2
7	11.5	15.5	4.0	0.2
8	15.5	20.5	5.0	0.2
9	20.5	26.8	6.3	0.2
10	26.8	34.8	7.9	0.2
11	34.8	44.8	10.0	0.2
12	44.8	57.4	12.6	0.2
13	57.4	73.2	15.9	0.2
14	73.2	93.2	20.0	0.2
15	93.2	118.3	25.1	0.2
16	118.3	149.9	31.6	0.2
17	149.9	189.7	39.8	0.2
18	189.7			