



BN2-5-2
Udgivet 01.11.2021
Godkendt 14.10.2021
Jnr.: 2021-9131
Antal sider i alt: 15

Overordnet ansvar: Rasmus S. Kjøller
Ansvar for indhold: Bo Nielsen
Ansvar for fremstilling: Henrik T. Scheuer

Ballast- og jordprøvetagning i sporkassen

Banenorm BN2-5-2

INDHOLD

1.	<u>INDLEDNING</u>	3
2.	<u>IKRAFTTRÆDEN</u>	3
3.	<u>OVERGANGSBESTEMMELSER</u>	3
4.	<u>REFERENCER</u>	3
5.	<u>DEFINITIONER</u>	5
6.	<u>DESKRIPTORER</u>	6
7.	<u>ANVENDELSESOMRÅDE</u>	6
8.	<u>DISPENSATION</u>	6
9.	<u>HISTORIK</u>	7
10.	<u>BN2, KRAV TIL UNDERSØGELSE AF SPORKASSEN</u>	8
10.1	Generelt vedrørende undersøgelse af sporkassen	8
10.2	Krav til målinger og registreringer	8
10.3	Krav til målenøjagtighed	10
10.4	Krav til antal målinger	11
10.4.1	Karteringsmetoden	11
10.4.2	Georadarmetoden	11
10.5	Krav til ballastprøver	12
10.6	Krav til vurdering af ballastprøver	13
10.7	Krav om levering af data til IRISsys	13
11.	<u>BN3, VEJLEDNING FOR KONTROL AF MÅLEDATA</u>	14
11.1	Karteringsmetoden	14
11.2	Georadarmetoden	14

1. INDLEDNING

Det er formålet med banenormen at sikre, at der foretages de nødvendige og tilstrækkelige undersøgelser af sporkassens opbygning og kvalitet, så som tykkelsen af ballast og underballast, ballastens kvalitet og hvilke jordarter, der er i og under råjordsplanum. Samtidigt stilles der krav til, hvordan undersøgelserne skal foretages.

Banenormen er udarbejdet i henhold til banenorm BN2-1-1 "Struktur, udseende og udvikling af Banenormer", Banedanmark, hvori normniveauerne BN1, BN2 og BN3 er defineret.

Udgivet af:

Banedanmark
Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

Fordeling:

Banenormen er tilgængelig på
Banedanmarks hjemmeside
www.bane.dk

2. IKRAFTTRÆDEN

Banenormen træder i kraft ved udgivelsen og erstatter følgende normer:

- Banenorm BN2-5-1 "Ballast- og jordprøvetagning i sporkassen", udgivet d. 24.03.2003, Banedanmark.

3. OVERGANGSBESTEMMELSER

Der er ingen overgangsbestemmelser i denne banenorm.

4. REFERENCER

Nogle steder henviser banenormen til andre bestemmelser. Enten skrives [bestemmelsens navn] eller en reference [referencenr.]. Betydningen af referencen kan læses nedenfor. Hvis der ikke er nævnt andet, gælder sidst udsendte version af det dokument, der henvises til.

Kommende banenormer er angivet i parentes (rund). Referencer til kommende banenormer er først gyldige, når pågældende banenorm er trådt i kraft.

Medmindre andet er nævnt, gælder at referencer er normative på BN1- eller BN2-niveau afhængig af den sammenhæng, de optræder i.

- [1] Banenorm BN2-1 "Struktur, udseende og udvikling af Banenormer", Banedanmark.
- [2] Banenorm BN1-38 "Sporbeliggenhedskontrol og sporkvalitetsnormer", Banedanmark.
- [3] Banenorm BN1-6 "Tværprofiler for ballasteret spor", Banedanmark.
- [4] "Vejledning i Ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse", DGF-bulletin 1. Revision 1, maj 1995, Dansk geoteknisk forening.
- [5] Banenorm BN2-4 "Skærvelaget, vedligeholdelse og fornyelse", Banedanmark.
- [6] Banenorm BN2-19 "Ballast og underballast", Banedanmark.
- [7] Banenorm BN1-8 "Underbygning: Jordarter", Banedanmark (Fremtidig banenorm BN1-188 "Geoteknik - Projekterings- og beregningsgrundlag for jordkonstruktioner", Banedanmark).
- [8] DS/EN 13450:2003 "Aggregates for railway ballast", Dansk Standard.

5. DEFINITIONER

I banenormen gælder følgende definitioner:

Nr.	Betegnelse	Definition
5.01	Georadar	Geofysisk metode til undersøgelse af jord og bygningsværker ved hjælp af elektromagnetiske pulser. Metoden er non-destruktiv og registrerer grænser mellem lag med forskellige elektriske egenskaber.
5.02	GIS	Geografisk informationssystem, er et computerbaseret system der bruges til registrering, analyse og præsentation af data der har en geografisk dimension.
5.03	Hyppige sporjusteringer	Lokaliteter, hvor forhold i tværprofilet giver anledning til et behov for sporjustering hvert 3. år eller hyppigere for $V \leq 200$ km/h og hvert 2,5 år eller hyppigere for $200 < V \leq 250$ km/h for at overholde kravene i henhold til BN1-38 [2].
5.04	Kartering	En simpel undersøgelse af jordbundsforhold med et karterings-bor, som er en stålstang med en smal rille på den nederste del. Når karteringsboret slås ned i jorden og drejes rundt, opsamles der en meget lille jordprøve i rillen.
5.05	Prøvetagning	Udtagning af en ballast- eller jordprøve enten ved boring eller ved gravning.
5.06	SO-plan	Et plan der tangerer begge skinnehoveders overflade. SO-planet vil således hælde i spor med overhøjde.
5.07	Sporfornyelse	Fornyelse eller ballastrensning af skærvelag undtagen i forbindelse med brorenoveringsopgaver, fornyelse af underballastlag, svelleudveksling med udstrækning større end 100 m, fornyelse af hele sporstrukturen eller sporsænkning.
5.08	Sporkasse	Betegnelse for ballast- og underballastlag.
5.09	Uroligt spor	Lokaliteter, hvor der er behov for midlertidige hastighedsnedsættelser eller sporjusteringer flere gange inden for 1 år for at overholde grænseværdierne i fejlklasse Max iht. BN1-38 [2].

6. DESKRIPTORER

Ballast, ballastprøve, ballastrensning, boring, georadar, gravning, hyppige sporjusteringer, kartering, opgradering, prøvetagning, skærver, spor, SO-plan, sporfornyelse, sporkasse, uroligt spor, vedligeholdelse.

7. ANVENDELSESOMRÅDE

Banenormen gælder for alle i drift værende spor under Banedanmarks ansvar som infrastrukturforvalter, hvor der tillades følgende kombinationer af hastighed samt aksellast:

- Hastighed $V \leq 100$ km/h samt aksellast $A \leq 25,0$ tons.
- Hastighed $100 < V \leq 250$ km/h samt aksellast $A \leq 22,5$ tons.

Banenormen skal anvendes ved undersøgelse af sporkassens opbygning jf. krav i BN1-6 [3] i forbindelse med sporfornyelse, opgradering samt i forbindelse med uroligt spor. Disse undersøgelser skal bruges til at klarlægge, om kravene til ballastens og underballastens tykkelse jf. krav i BN1-6 [3] er opfyldt og ligeledes til at klarlægge om kravene til ballastens og underballastens kvalitet jf. BN2-4 [5] og BN2-19 [6] er opfyldt.

Hvor et infrastrukturarbejde under anvendelsesområdet for en eller flere TSI'er udgør et ny-anlæg, en opgradering eller en fornyelse, som defineret i Interoperabilitetsdirektivet, skal relevante TSI-krav følges.

Note 7-1

Banedanmark vurderer, at relevante TSI-krav for banenormen er overholdt i denne version, hvilket skal bekræftes af et notified body for projekter, der er omfattet af TSI-krav.

Proces for ændringer i infrastrukturen fremgår af Banedanmarks ledelsessystem, hvor til der henvises.

8. DISPENSATION

Proces for dispensation fra tekniske regler fremgår af Banedanmarks ledelsessystem, hvor til der henvises.

9. HISTORIK

De væsentligste ændringer i banenormen i forhold til den tidligere version (BN2-5-1) er følgende:

- Referencerne er opdateret.
- Definition af hyppige sporjusteringer, uroligt spor og sporkasse er indført.
- Sporombygninger er ændret til sporfornyelse.
- Anvendelsesområdet er harmoniseret med anvendelsesområdet i øvrige banenormer.
- Dispensationer er harmoniseret med dispensationer i øvrige banenormer.
- Krav til måling og registrering er udbygget.
- Krav til målenøjagtighed er udbygget.
- Krav til antal målinger er ajourført.
- Krav om jordprøvetagning via borerer eller gravninger er i udstrakt grad erstattet af mulighed for anvendelse af karteringer eller georadar.
- Krav om arkivering er ændret til krav om levering af data til import i IRISsys.
- Vejledning for kontrol af måledata fra karteringer og georadar er indført.
- Vejledning om identifikation af eventuelle tidligere overkørsler er udgået.
- Vejledning om prøvetagning ved borerer og gravning er udgået.

10. BN2, KRAV TIL UNDERSØGELSE AF SPORKASSEN

10.1 Generelt vedrørende undersøgelse af sporkassen

Karteringer og/eller georadar er i de fleste tilfælde tilstrækkeligt til at opnå den nødvendige og tilstrækkelige viden om sporkassens tilstand, mens de væsentlige dyrere prøvetagninger i form af ballastboringer eller gravninger primært skal anvendes i specialtilfælde.

Ved specialtilfælde tænkes primært på kontrol af data vedrørende lagtykkelser fra karteringer, kalibrering af data vedrørende finstofindhold i ballasten fra georadar eller, hvor informationer fra karteringer og/eller georadar ikke vurderes tilstrækkelige til at klarlægge årsager til hyppige sporjusteringer eller uroligt spor.

Inden undersøgelsen af sporkassen, skal der udarbejdes en opgørelse af sporstykker med hyppige sporjusteringer og/eller uroligt spor.

Ved undersøgelse af sporkassen er i banenormen angivet 2 ligeværdige metoder, der er benævnt henholdsvis karteringsmetoden og georadarmetoden.

Når der foreligger objektive data om sporkassen, skal der efterfølgende foretages en besigtigelse af lokaliteter med uroligt spor. Ved besigtigelsen skal årsagen til det urolige spor så vidt muligt vurderes og den præcise kilometrerings fastlægges. I vurderingen skal medtages forhold vedrørende banens tværprofil og afvandingsforhold på stedet, samt hvordan sporet bevæger sig ved togpassage.

Hvis det urolige spor ikke kan forklares ud fra data om sporkassens opbygning (tykkelse af ballast, tykkelse af underballast, kvalitet af ballast, afvanding af ballasten, afvandingssystem) skal der foretages en prøvetagning i form af ballastboring eller gravning.

Hvis der er mistanke om at der er problemer med jordbundsforholdene under sporet, skal der tages kontakt til faget Geoteknik med henblik på overvejelse om udførelse af en egentlig geoteknisk undersøgelse.

10.2 Krav til målinger og registreringer

For boringer, gravninger, karteringer og georadar stilles følgende krav til målinger og registreringer:

- Måledato
- Hovedstrækningsnummer.
- Spornummer.
- Kilometrering med 3 decimaler [Km].
- Koordinater i Kp2000/DVR90-system.
- Placering i forhold til spormidte [m].

Note 10.2-1

Målingen foretages som udgangspunkt under spormidten, hvorfor der i så fald registreres 0,00. Hvis målingen ikke foretages under spormidten, registreres målingens placering i forhold til spormidten som f.eks. +0,47 m, svarende til 0,47 m til højre for spormidten eller -0,47 m svarende til 0,47 m til venstre for spormidten set i stigende km-retning.

- Afstand fra SO-plan til overside af ballast med 2 decimaler [m].
- Afstand fra SO-plan til overside af underballast med 2 decimaler [m].
- Afstand fra SO-plan til overside af råjordsplanum med 2 decimaler [m].
- Afstand fra SO-plan til overside af øvrige lag under råjordsplanum indtil 1,5 m under SO-plan med 2 decimaler [m].
- Beskrivelse af jordarten i hvert lag. Bikomponenter skal så vidt muligt beskrives, især skal det beskrives, hvis jordarten indeholder silt og/eller organisk stof.
- Hvis der er fugt eller vand, skal det registreres, i hvilken dybde under SO-plan fugten eller vandet er [m], samt hvorvidt der er forekommet regn på måledagen.
- Hvis der er olieforurening, skal det så vidt muligt registreres, fra og til hvilken dybde under SO-plan forureningen er [m].

For boringer, gravninger og karteringer stilles desuden følgende krav til målinger og registreringer:

- Der skal tages foto af prøven. For boringer og karteringer skal overfladen dog afskrabes inden, så prøven ikke er dækket af eventuelt finmateriale fra borerøret eller karteringsboret.

For boringer stilles endvidere følgende krav til målinger og registreringer:

- Hvis der er en synlig opskydning af skærvelagets overside i boringen, skal det registreres, hvor stor opskydningen er.

Hvis der konstateres olieforurening, skal det indberettes til den relevante afdeling/sektion i Banedanmark.

10.3 Krav til målenøjagtighed

For borer, gravninger, karteringer og georadar stilles nedennævnte krav til målenøjagtighed.

Borer, gravninger, karteringer og georadar:

- Kilometrering: +/- 1 m

Borer, gravninger og karteringer:

- Koordinater i Kp2000/DVR90-system (X og Y / Z): +/- 5 cm

Georadar:

- Koordinater i Kp2000-system (X og Y): +/- 1 m

Borer og gravninger:

- Afstand fra SO-plan til laggrænser jf. afsnit 10.2: +/- 2 cm

Karteringer:

- Afstand fra SO-plan til laggrænser jf. afsnit 10.2: +/- 5¹⁾ cm

Georadar:

- Afstand fra SO-plan til laggrænser jf. afsnit 10.2: +/- 10²⁾ cm

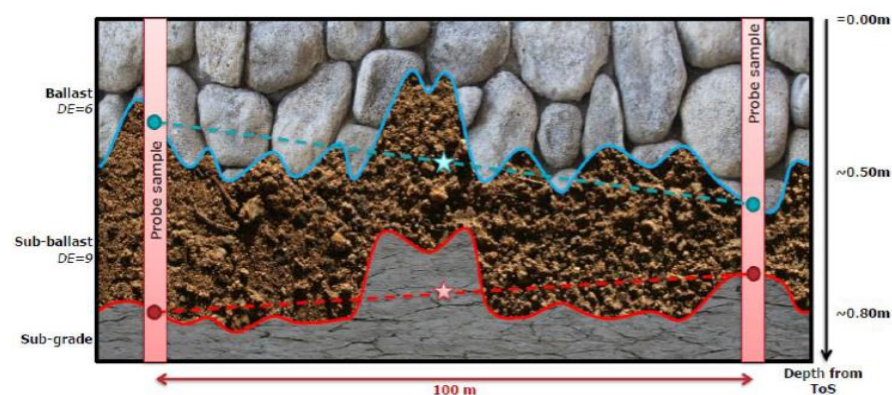
¹⁾: For afstand fra SO-plan til overside underballast gælder dog, at værdien er +/- 10 cm.

²⁾: Værdien er gældende for afstande indtil 1,22 m under SO-plan.

Alle ovennævnte krav til målenøjagtighed skal baseres på en 95 % fraktil.

Note 10.3-1

Det er vanskeligt at opnå samme målenøjagtighed på et givet sted i sporet ved anvendelse af georadar i forhold til karteringer. Imidlertid er det uklart hvad der sker mellem 2 karteringer, som illustreret nedenfor, hvorfor der ved anvendelse af næsten kontinuerlige data fra georadar opnås en fordel på dette punkt:



Ud fra karteringsresultater pr. 50 m fra et sporfornyelsesprojekt, er der for laggrænsen mellem underside underballast/overside af råjordsplan opnået $2 \times \text{Std-Afv} = 12 \text{ cm}$ for afvigelser mellem gennemsnittet ud

fra 2 stk. karteringer med 100 meters mellemrum og en reel kartering midt mellem disse målinger. Da målenøjagtigheden ved hver af karteringerne med 100 meters mellemrum er +/- 5 cm (95 % fraktil) vil nøjagtigheden midt mellem disse målinger være +/- 13 cm (95 % fraktil) ($\sqrt{5^2 + 12^2} = 13$).

Note 10.3-2

Erfaringer fra test af georadar viser, at det kan være vanskeligt at opnå en tilstrækkelige nøjagtighed for lag placeret fra ca. 1,25 til 1,50 m under SO-plan, hvorfor kravene til målenøjagtighed er begrænset til afstande indtil 1,22 m (0,39 m + 0,03 m + 0,30 m + 0,30 m + 0,20 m) under SO-plan, svarende til den nominelle afstand fra SO-plan til overside af råjordsplanum i forbindelse med sporfornyelse for hastigheder i intervallet $160 < V \leq 200$ km/h tillagt en tolerance på 0,20 m af hensyn til mulige ændringer af længdeprofil m.v..

10.4 Krav til antal målinger

I det følgende er beskrevet krav til antal målinger ved anvendelse af dels karteringsmetoden, dels georadarmetoden.

10.4.1 Karteringsmetoden

For spor, hvor der er registeret hyppige sporjusteringer og/eller uroligt spor gælder, at der skal foretages minimum 1 kartering pr. 50 m.

For øvrige steder i sporet gælder, at der skal foretages minimum 1 kartering pr. 100 m, 1 kartering pr. overføring og 3 karteringer pr. underføring. For de 3 steder pr. underføring gælder, at disse skal foretages umiddelbart før underføringen, midt på underføringen og umiddelbart efter underføringen.

For kontrol af afstand målt med kartering fra SO-plan til dels overside underballast, dels overside af råjordsplanum gælder, at der skal foretages minimum 1 prøvetagning pr. 1000 m.

10.4.2 Georadarmetoden

Ved anvendelse af georadar gælder, at der skal foretages minimum 1 måling pr. meter.

For kalibrering af afstand målt med georadar fra SO-plan til dels overside underballast, dels overside af råjordsplanum gælder, at der skal foretages minimum 1 kartering pr. 1000 m.

For kontrol af afstand målt med georadar fra SO-plan til dels overside underballast, dels overside af råjordsplanum gælder, at der skal foretages minimum 2 karteringer pr. 1000 m.

For kontrol af afstand målt med kartering fra SO-plan til dels overside underballast, dels overside af råjordsplanum i forbindelse med både kalibrering og kontrol gælder, at der skal foretages minimum 3 prøvetagninger pr. 10000 m.

Lokaliteter der skal anvendes til kalibrering og kontrol, skal udvælges på sporstykker, hvor der ikke er registreret uroligt spor.

Note 10.4.2-1

Karteringer til kalibrering og kontrol af måledata fra georadar samt prøvetagninger til kontrol af måledata fra karteringer bør udføres ud for kilometertavler/kilometersten pr. 0,2 km med henblik på at minimere unøjagtigheden af kilometreringen og simplificere sammenligningen af måledata fra forskellige kilder.

Note 10.4.2-2

Hvis der er tid i det aktuelle projekt, bør georadarmålinger overvejes udført før karteringer (og prøvetagninger), da lokaliteterne for karteringer (og prøvetagninger) vil kunne udvælges, hvor kravene til afstanden fra SO-plan til overside 1. lag af råjord kan forventes at bruges til kalibrering og kontrol af målenøjagtigheden. Ulempen ved at udføre georadarmålinger før karteringer (og prøvetagninger) er dog, at der er behov for levering af måledata fra georadar en ekstra gang.

Note 10.4.2-3

Ved anvendelse af georadar foretages en kalibrering af kilometreringen for hver kilometer samt på steder, hvor der er kendte spring i kilometreringen. Dette med henblik på at kunne leve op til kravene for målenøjagtighed med hensyn til kilometreringen.

10.5 Krav til ballastprøver

Hvis der skal udtages ballastprøver til sigtning og/eller klassifikation, skal ballastprøven udtages i et veldefineret volumen med lodrette sider. Hvis ballastprøveudtagningen udføres ved gravning, skal gravningen udføres med stålramme som angivet i DS/EN 13450 [8]. Det skal registreres, fra og til hvilken dybde under SO-plan ballastprøven tages.

Note 10.5-1

Hvis ballastprøven udtages i et tilfældigt volumen, f.eks. med skrå sider, vil der komme for meget af den øverste rene del af skærvene med i prøven, og dermed bliver ballastprøven ikke repræsentativ.

På ballastprøverne skal udføres sigtninger på 22,4 mm sigten (med firkantede masker).

Hvis der ifølge BN2-19 [6] skal udføres egentlige klassifikationsforsøg, skal de udføres som angivet i BN2-19 [6]. Der skal udføres sigtninger på alle ballastprøverne. Ved sigtningen skal der dog tilføjes en sigte med maskevidde 22,4 mm. De øvrige krævede klassifikationsforsøg skal udføres på halvdelen af ballastprøverne.

Hvis der er udtaget jordprøver i råjordsplanum, skal jordprøven beskrives geologisk efter Dgf-Bulletin 1 [4].

10.6 Krav til vurdering af ballastprøver

Resultatet af sigtningerne på 22,4 mm sigten siger noget om, hvor meget finstof, der er i hele ballastprøven fra top af skærver til ballastprøvens bund. Det er kun den del af skærverne, der ligger under svellerne, der er krav til ifølge BN2-4 [5]. Der skal derfor foretages en omregning af sigteresultatet med følgende formel:

$$v = \frac{(v_t - (100 - v_t) \cdot h/d \cdot 0,04) \cdot 100}{100 - (100 - v_t) \cdot h/d \cdot 1,04}$$

- v : Vægtprocent af materiale under 22,4 mm for skærver under svelleunderside
v_t : Den totale ballastprøves vægtprocent af materiale under 22,4 mm
d : Ballastprøvens totale dybde, målt fra skærveoverfladen.
h : Dybde fra skærveoverfladen til underside svelle.

Hvis SO-plan ændres efter udtagelsen af ballastprøven, kan den ændrede vægtprocent af finstofindholdet beregnes ved at beregne h ud fra det niveau, som skærveoverfladen havde, da ballastprøven blev udtaget. (Dvs. hvis sporet er løftet 5 cm, så bliver h 5 cm mindre).

Den udregnede vægtprocent af finmateriale under svelleunderside skal sammenholdes med kravet i BN2-4 [5].

Resultaterne af klassifikationsforsøgene skal sammenlignes med kravene i BN2-19 [6].

Jordarterne i råjordsplanum skal sammenholdes med kravene i BN1-8 [7].

Note 10.6-1
Hvis der konstateres olieforurening i borerne, bør det vurderes, om der skal udføres en egentlig miljøundersøgelse.

10.7 Krav om levering af data til IRISsys

For borer, gravninger, karteringer og georadar gælder, at målinger og registreringer senest 2 uger efter modtagelsen ved Banedanmark skal mailes til IRISsys@bane.dk med henblik på import i IRISsys.

11. BN3, VEJLEDNING FOR KONTROL AF MÅLEDATA

I de følgende underafsnit fremgår vejledning for kontrol af måledata baseret på karteringsmetoden og georadarmetoden.

11.1 Karteringsmetoden

Ved kontrol af karteringer med gravninger/boringer tages hensyn til dels målenøjagtigheden af karteringer, dels gravninger/boringer, hvorfor det for laggrænsen ved overside af underballast kontrolleres at:

$$\begin{aligned}2\sigma_{\text{Kontrol-Kartering-underballast}} &\leq \sqrt{2\sigma_{\text{Kartering-underballast}}^2 + 2\sigma_{\text{Gravning/Boring-underballast}}^2} \\ \downarrow \\ 2\sigma_{\text{Kontrol-Kartering-underballast}} &\leq \sqrt{(10 \text{ cm})^2 + (2 \text{ cm})^2} \\ \downarrow \\ 2\sigma_{\text{Kontrol-Kartering-underballast}} &\leq 10,2 \text{ cm}\end{aligned}$$

Tilsvarende kontrolleres det for laggrænsen ved overside af råjordsplanum at:

$$\begin{aligned}2\sigma_{\text{Kontrol-Kartering-råjordsplanum}} &\leq \sqrt{2\sigma_{\text{Kartering-råjord}}^2 + 2\sigma_{\text{Gravning/Boring-råjordsplanum}}^2} \\ \downarrow \\ 2\sigma_{\text{Kontrol-Kartering-råjord}} &\leq \sqrt{(5 \text{ cm})^2 + (2 \text{ cm})^2} \\ \downarrow \\ 2\sigma_{\text{Kontrol-Kartering-råjord}} &\leq 5,4 \text{ cm}\end{aligned}$$

Det kan enten kontrolleres om 95 % af de sammenlignede forskelle (mellem karteringer og gravninger/boringer) er mindre end kravet eller om 2 gange standardafvigelsen af de sammenlignede forskelle er mindre end kravet.

11.2 Georadarmetoden

Ved kontrol af georadar med karteringer tages hensyn til dels målenøjagtigheden af georadar, dels karteringer, hvorfor det for laggrænsen ved overside af underballast kontrolleres at:

$$\begin{aligned}2\sigma_{\text{Kontrol-Georadar-underballast}} &\leq \sqrt{2\sigma_{\text{Georadar-underballast}}^2 + 2\sigma_{\text{Kartering-underballast}}^2} \\ \downarrow \\ 2\sigma_{\text{Kontrol-Georadar-underballast}} &\leq \sqrt{(10 \text{ cm})^2 + (10 \text{ cm})^2} \\ \downarrow \\ 2\sigma_{\text{Kontrol-Georadar-underballast}} &\leq 14,1 \text{ cm}\end{aligned}$$

Derudover kontrolleres karteringer med gravninger/boringer for laggrænsen ved overside af underballast, som angivet i afsnit 11.1.

Tilsvarende kontrolleres det for laggrænsen ved overside af råjordsplanum at:

$$2\sigma_{\text{Kontrol-Georadar-råjordsplanum}} \leq \sqrt{2\sigma_{\text{Georadar-råjord}}^2 + 2\sigma_{\text{Kartering-råjordsplanum}}^2}$$

↓

$$2\sigma_{\text{Kontrol-Georadar-råjordsplanum}} \leq \sqrt{(10 \text{ cm})^2 + (5 \text{ cm})^2}$$

↓

$$2\sigma_{\text{Kontrol-Georadar-råjordsplanum}} \leq 11,2 \text{ cm}$$

Derudover kontrolleres karteringer med gravninger/boringer for laggrænsen ved overside af råjordsplanum, som angivet i afsnit 11.1.

Det kan enten kontrolleres om 95 % af de sammenlignede forskelle (mellem georadar og karteringer) er mindre end kravet eller om 2 gange standardafvigelsen af de sammenlignede forskelle er mindre end kravet.