



Udgivet 16.09.2025
Godkendt 05.09.2025
Jnr.: 2018-2778
Antal sider i alt: 56

Overordnet ansvar:
Ansvar for indhold:
Ansvar for fremstilling:

Anders Muus
Claus Fredborg Lange
Birgitte Madsen

Geoteknik - Projekterings- og beregningsgrundlag for jordkonstruktioner

Banenorm BN1-188-1

INDHOLD

1.	<u>INDLEDNING</u>	5
2.	<u>IKRAFTTRÆDEN</u>	7
3.	<u>OVERGANGSBESTEMMELSER</u>	8
4.	<u>REFERENCER</u>	9
5.	<u>DEFINITIONER</u>	11
6.	<u>DESKRIPTORER</u>	14
7.	<u>ANVENDELSESOMRÅDE</u>	15
8.	<u>DISPENSATION</u>	16
9.	<u>HISTORIK</u>	16
10.	<u>GEOTEKNISK PROJEKTERINGSGRUNDLAG</u>	17
10.1	BN1 Projekteringskrav	17
10.2	BN1 Projekteringstilfælde	18
10.3	BN2 Levetid	18
10.4	BN1 Geoteknisk dimensionering ved beregning	18
10.4.1	Generelt	18
10.4.2	Laster	20
10.4.3	Jordens egenskaber	20
10.4.4	Geometriske data	21
10.4.5	Karakteristiske værdier	21
10.4.6	Regningsmæssige værdier	22
10.4.7	Brudgrænsetilstande	22
10.4.8	Anvendelsesgrænsetilstande	22
10.5	BN1 Dimensionering ud fra erfaringsregler	23
10.6	BN1 Belastningsforsøg og modelforsøg	23
10.7	BN1 Observationsmetoden	23
10.8	BN1 Den geotekniske projekteringsrapport	23
11.	<u>KRAV GEOTEKNISK PROJEKTERINGSGRUNDLAG</u>	24
11.1	BN2 Generelt	24

11.2	BN2 Geoteknisk undersøgelse	24
11.3	BN1 Geotekniske rapporter	25
11.3.1	Geoteknisk undersøgelsesrapport	25
11.3.2	Geoteknisk projekteringsrapport	26
11.3.3	Geoteknisk kontrolrapport	27
12.	<u>BN1 GEOTEKNISKE DATA</u>	28
12.1	Generelt	28
12.2	Geotekniske undersøgelser	28
12.3	Fastsættelse af geotekniske parametre	28
12.4	Den geotekniske undersøgelsesrapport	28
13.	<u>BN1 KONTROL MED UDFØRELSE</u>	29
13.1	Generelt	29
14.	<u>OPFYLDNING, AFVANDING, GRUNDFORBEDRING OG FORSTÆRKNING</u>	- 30
14.1	BN1 Generelt	30
14.2	BN1 Opfyldning	30
14.3	BN2 Opfyldning	30
14.4	BN1 Afvanding	30
14.5	BN1 Grundforbedring og -forstærkning	31
14.6	BN2 Grundforbedring og -forstærkning	31
14.7	BN2 Jordarbejder	31
14.8	BN2 Udtørring i beplantningszoner	32
15.	<u>BN1 DIREKTE FUNDERING I TERRÆN ELLER I AFGRAVNING</u>	33
15.1	Generelt	33
15.2	Grænsetilstande	33
15.3	Laster og projekteringsstilfælde	33
15.4	Projekterings- og udførelsmæssige hensyn	33
15.5	Projektering af brudgrænsetilstand	33
15.5.1	Nyanlæg	34
15.5.2	Sporflytning	34
15.5.3	Opgradering, større aksellast	35

15.5.4	Opgradering, større hastighed	36
15.5.5	Stabilisering	36
15.6	Projektering af anvendelsesgrænsetilstand	36
15.7	Tilsyn og overvågning	36
16.	<u>BN1 PÆLEFUNDERING</u>	37
16.1	Grænsetilstande	37
16.2	Laster og projekteringstilfælde	37
17.	<u>JORDANKRE, FORANKRINGER OG AFSTIVNINGER</u>	38
17.1	BN1 Generelt	38
17.2	BN1 Projekterings- og udførelsmæssige hensyn	38
17.2.1	Jordankre	38
17.3	BN2 Forankringer og afstivninger	38
17.4	BN2 Afstandskrav	39
18.	<u>STØTTEKONSTRUKTIONER</u>	40
18.1	BN1 Generelt	40
18.2	BN1 Grænsetilstande	40
18.3	BN1 Laster, geometriske data og projekteringstilfælde	40
18.4	BN1 Projekterings- og udførelsmæssige hensyn	41
18.5	BN1 Bestemmelse af jordtryk	41
18.6	BN1 Vandtryk	42
18.6.1	Anvendelses- og brudgrænsetilstande	42
18.6.2	Ulykkeslasttilfælde	42
18.7	BN1 Projektering af brudgrænsetilstand	42
18.8	BN1 Projektering af anvendelsesgrænsetilstand	43
18.9	BN2 Støttekonstruktioner	43
19.	<u>BN1 HYDRAULISK BRUD</u>	44
20.	<u>BANESKRÅNING</u>	45
20.1	BN1 Generelt	45
20.2	BN1 Grænsetilstande	45
20.3	BN1 Laster og projekteringstilfælde	45
20.4	BN1 Projekterings- og udførelsmæssige hensyn	45

20.5	BN1 Projektering af brudgrænsetilstand	45
20.5.1	Nyanlæg	45
20.5.2	Eksisterende baneskråninger	46
20.6	BN1 Projektering af anvendelsesgrænsetilstand	46
20.7	BN1 Tilsyn og overvågning	46
20.8	BN2 Sikring af baneskråninger	46
20.9	BN2 baneskråninger (sekundære jordkonstruktioner)	47
21.	<u>BN1 BANEDÆMNINGER</u>	48
21.1	Generelt	48
21.2	Grænsetilstande	48
21.3	Laster og projekteringstilfælde	48
21.4	Projekterings- og udførelsesmæssige hensyn	48
21.5	Projektering af brudgrænsetilstand	48
21.5.1	Nyanlæg	49
21.5.2	Sporflytning	50
21.5.3	Opgradering, større aksellast	52
21.5.4	Opgradering, større hastighed	52
21.5.5	Stabilisering	53
21.6	Projektering af anvendelsesgrænsetilstand	53
21.7	Tilsyn og overvågning	53
22.	<u>BN2 SÆTNINGSKRAV TIL BANENS UNDERBYGNING</u>	54
22.1	Totale sætninger	54
22.2	Differenssætninger i banens længderetning	54
22.3	Sætning af skinne som følge af akselpassage	55

1. INDLEDNING

Formålet med denne banenorm er at opstille funktionskrav ved at sikre et tilfredsstillende sikkerhedsniveau for jordkonstruktioner under normale driftsvilkår.

Banenormen angiver regler for både primære og sekundære jordkonstruktioner. De primære jordkonstruktioner er de jordkonstruktioner, der kan påvirke jernbanesikkerheden som følge af svigt/bevægelser i jordkonstruktionen.

Banenormen skal anvendes:

- For nyanlæg.
- For eksisterende, primære jordkonstruktioner, hvor der foretages opgradering og/eller stabilisering.
- For midlertidige, primære jordkonstruktioner.
- Ved arbejder i nærhed af jernbaneområdet, hvor jernbaneloven i henhold til afsnit 14.1 træder i kraft.

Krav anført i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA og i [2.2] DS/EN 1997-2 inklusive DK NA skal følges for primære og sekundære jordkonstruktioner. Denne banenorm angiver supplerende, banetekniske krav, der ligeledes skal følges for primære og sekundære jordkonstruktioner.

BN1-185 "Geoteknik – Banens underbygning for spor i drift" angiver krav for vedligehold samt krav, der beskriver hvornår en eksisterende bane er i orden, mens BN1-188 er en geoteknisk projekteringsnorm, hvor krav til projektering er angivet.

Belastningsgrundlaget for dimensionering af jordkonstruktioner fremgår af BN1-reglerne i [1.4] BN1-59. BN1-59 indeholder tillige referencer til Eurocodes for konstruktionsmaterialer som eksempelvis stål, hvorfor disse referencer ikke er gengivet i BN1-188.

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

Når der i banenormen anvendes et sprogbug i form af "Det skal dokumenteres", så indbefatter dette, at beregninger/vurderinger i forbindelse med det aktuelle krav skal indeholdes i den geotekniske projekteringsrapport.

Noter er informative. Noter anvendes til at lette forståelsen af banenormen, typisk ved uddy-bende forklaringer.

Der er ikke medtaget forhold omkring miljø og arbejdsmiljø, da denne banenorm primært vedrører beregningstekniske forhold.

Udgivet af:

Banedanmark
Carsten Niebuhrs Gade 43
1577 København V

Fordeling:

Banenormen er tilgængelig på
Banedanmarks hjemmeside
www.bane.dk

2. IKRAFTTRÆDEN

Denne banenorm træder i kraft ved udgivelsen.

Banenormen erstatter sammen med [1.5] BN1-185 nedenstående regler:

- (Teknisk Meddelelse 61 (TM 61) "Fundering og jordkonstruktioner", Banedanmark 2024.11.20.)
- Teknisk Meddelelse 62 (TM 62) "Geotekniske regler knyttet til tværprofiler for ballasteret spor", Banedanmark, 2014.03.01.
- "BN1-8-1, Underbygning: Jordarter", Banedanmark, 2005.06.24.

3. OVERGANGSBESTEMMELSER

Herværende banenorm skal følges medmindre projektet falder ind under én af følgende to optioner:

- Hvis man på udgivelsesdatoen for denne banenorm har påbegyndt detailprojektering og har under 4 år til udførelse, kan man, som alternativ til brugen af denne banenorm, vælge at følge krav i TM 61, TM 62 og BN1-8-1.
- For projekter, der er færdigprojekterede ved brugen af TM 61, TM62 og BN1-8-1, og som har fået en ibrugtagningstilkendegivelse, tillades påbegyndelsen af udførelsen skubbet til maksimalt 3 år efter udgivelsen af denne banenorm. En senere udførelse kræver en genprojektering i henhold til herværende banenorm.

For projekterne Ringsted-Femern-projektet samt Storstrømsbro-projektet accepteres, at angivne normer i kontraktgrundlaget følges indtil projektafslutning.

Note 3-1:

Referencerne [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA og [2.2] DS/EN 1997-2 inklusive DK NA er indeholdt som normative referencer i [1.4] BN1-59, og disse referencer er således ikke en del af overgangsbestemmelserne.

4. REFERENCER

Nogle steder henviser denne banenorm til andre bestemmelser, og disse er listet herunder med [bestemmelsens navn] og et nummer [nr.]. Hvis ikke andet er nævnt, gælder sidst udsendte version af det dokument, der refereres til.

Referencerne er normative på BN1- eller BN2-niveau afhængig af den sammenhæng de optræder i medmindre en reference er angivet som informativ.

Banenormer (Normative). Udgiver Banedanmark:

- [1.1] BN1-6 Tværprofiler for ballasteret spor
- [1.2] BN1-11 Afvanding af sporarealer
- [1.3] BN1-38 Sporbeliggenhedskontrol og sporkvalitetsnormer
- [1.4] BN1-59 Belastningsforskrift for sporbærende broer og jordkonstruktioner
- [1.5] BN1-185 Geoteknik – Banens underbygning for spor i drift
- [1.6] BN2-1 Struktur, udseende og udvikling af banenormer
- [1.7] BN2-94 Landmåling på banen

Eurocodes. Udgiver Dansk Standard:

- [2.1] DS/EN 1997-1:2007, 2. udgave, version 2007.06.22. Eurocode 7: Geoteknik – Del 1: Generelle regler inkl. DK NA, rettelsesblad DS/EN 1997-1/AC (2010.03.19) samt tillæg DS/EN 1997-1/A1 (2014.02.03).
- [2.2] DS/EN 1997-2+AC:2011, 2. udgave, version 2011.06.29. Eurocode 7: Geoteknik – Del 2: Jordbundsundersøgelser og prøvning inkl. DK NA.

Note 4-1:

DS/EN 1990 til DS/EN 1999 (alle tillæg, annekser og DK NA inklusive) er normative som følge af [2.1] DS/EN 1997-1, Kapitel 1.2 "Normative referencer".

Reference [2.1] og [2.2] er udgivet af CEN på baggrund af direktiver vedtaget af EU-kommissionen. Ifølge EU-kommissionens direktiv 2014/25/EU (Public Procurement Directive) er medlemslandene forpligtet til at acceptere projekter, der er udarbejdet i henhold til Eurocodekomplekset. Såfremt et projekt ønsker at anvende alternative normer, skal det dokumenteres at disse regler er teknisk ækvivalente til Eurocodes, og giver mindst samme sikkerhedsniveau.

Andre relevante dokumenter (Normative):

- [3.1] "Vejledning i Ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse", dgf-Bulletin 1. Revision 2, december 2021.

Andre relevante dokumenter (Informative):

- [4.1] Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, Lunne et al., ISBN 0 419 23750 X
- [4.2] Bearing Capacity, Comparison of Results from FEM and DS/EN 1997-1 DK NA:2013, Banedanmark, Established by nmGeo and COWI, December the 20th, 2014

5. DEFINITIONER

Nr.	Begreb	Definition
5.01	Afstivning	En afstivning består af et trykelement inklusive fastgørelser. Trykelementet fastgøres til konstruktionselementet, der skal fastholdes, og til et modhold. Trykelementet skal dermed sikre ligevægt mellem konstruktionselementet og modholdet. Fastgørelsen kan bestå af eksempelvis et stræk mens modholdet eksempelvis kan udgøres af en spuns eller en kældervæg.
5.02	Armeret jordkonstruktion	Jordkonstruktion hvis stabilitet sikres ved armering inde i jordfyldningen.
5.03	Banedæmning	Ved en banedæmning hæver teoretisk råjordsplanum sig mindst 1,0 m over det laveste niveau af enten grøftebund eller den planlagte terrænoverflade. Hvis banen er placeret i en skråning, skal den del af skråningen, der er beliggende under teoretisk råjordsplanum, betragtes som en banedæmning.
5.04	Banens underbygning	Ved banens underbygning forstås jordlagene, hvis øverste begrænsning er råjordsplanum. Disse jordlag understøtter banens overbygning (underballast, ballast, sveller, skinner og befæstelsesdele).
5.05	Baneskråning	Ved en baneskråning ligger teoretisk råjordsplanum mindst 1,0 m under den planlagte terrænoverflade. Hvis banen er gravet ind i en skråning, skal den del af skråningen, der er beliggende over teoretisk råjordsplanum, betragtes som en baneskråning. En dæmning beliggende op ad banen vil skulle betragtes som en baneskråning.
5.06	DK NA	Danske nationale annekser der knytter sig til Eurocodes, som indeholder nationalt bestemte valg.
5.07	Drænbetingelse	Kombinationen af jordens stivhed, jordens permeabilitet og dræneveje, der danner baggrund for en vurdering af hvornår jorden er overgået til en fuldt drænet tilstand for de betragtede lastscenarier.

Nr.	Begreb	Definition
5.08	Eurocodes (EC)	Sæt af fælleseuropæiske konstruktionsnormer sat i kraft via direktiver af EU.
5.09	Forankring	<p>En forankring består af et trækelement inklusive fastgørelser. Trækelementet fastgøres til konstruktionselementet, der skal fastholdes, og til et modhold. Trækelementet skal dermed sikre ligevægt mellem konstruktionselementet og modholdet. Fastgørelsen vil typisk bestå af et ankerhoved, mens modholdet kan udgøres af eksempelvis en ankerspuns eller en ankerplade.</p> <p>I denne banenorm behandles jordankre som en særskilt delmængde af forankringer hvortil der er knyttet særlige regler.</p>
5.10	Geoteknik	Ingeniørvidenskab, der beskæftiger sig med jord som bygemateriale.
5.11	God underbund	<p>Intakte senglaciale, glaciale eller ældre aflejringer med styrker svarende til enten en karakteristisk udrænnet kohæsion $c_u > 60$ kPa for kohæsive aflejringer eller en karakteristisk, effektiv, plan, friktionsvinkel svarende til $\phi' > 35^\circ$ (sekantværdi) for friktionsjordarter. For intakte kohæsive aflejringer gælder tillige, at $I_p < 15$ % (dog 25 % for moræneler) mens der for intakte friktionsjordarter (herunder silt) stilles krav om $D_{10} \geq 0,063$ mm og et glødetab på maksimalt 1,0 %.</p> <p>Fyld der er indbygget i eksisterende jordkonstruktioner, og som overholder styrke- og klassifikationskravene til god underbund, er ligeledes at opfatte som god underbund.</p> <p>For kalk gælder, at hærdningsgraderne H3, H4 og H5 tilhører god underbund. Hærdningsgrad H2 tilhører ligeledes god underbund hvis det befinder sig dybere end 1,2 m under ballastoverside.</p>
5.12	Højdeflytning	En lodret flytning af teoretisk råjordsplanum (hævning eller sænkning).

Nr.	Begreb	Definition
5.13	Jordanker	Forankring bestående af et ankerhoved, en fri længde og en forankringslængde etableret ved injicering.
5.14	Jordkonstruktion	Støttekonstruktion (eksempelvis mur, fløjvæg, kældervæg, spunsvæg og armeret jordkonstruktion), fundamenter, pæle, banens underbygning (herunder banedæmnings- og baneskråninger).
5.15	Karakteristisk værdi	Der henvises til [2.1] DS/EN 1997-1 Eurocode 7: Geoteknik - Del 1: Generelle regler inkl. DK NA, afsnit 2.4.5.
5.16	Kritisk hastighed	Den kritiske hastighed svarer til udbredelseshastigheden af forskydningsbølgen under sporet. Forskydningsbølgen genereres af det kørende tog. Kritisk hastighed svarer til resonanspunktet, hvor der vil opstå uacceptabelt store deformationer af spor.
5.17	Nyanlæg af jordkonstruktion	Anlæggelse af ny jordkonstruktion (både i forbindelse med ny banetracé og ved udbygning af eksisterende banetracé), samt fornyelse af eksisterende jordkonstruktion.
5.18	Opgradering	Betegnelse for hastighedsforøgelse og/eller forøgelse af tilladelige laster.
5.19	Primær jordkonstruktion	En jordkonstruktion, hvis placering i forhold til banen kan påvirke jernbanesikkerheden som følge af svigt/bevægelser af jordkonstruktionen.
5.20	Ringe underbund	Aflejringer, der ikke overholder kravene til "god underbund".
5.21	Råjordsplanum	Grænsen mellem underballast og den underliggende råjord.
5.22	Sekundær jordkonstruktion	En jordkonstruktion, hvis placering i forhold til banen ikke vil påvirke jernbanesikkerheden som følge af svigt/bevægelser af jordkonstruktionen.
5.23	Sideflytning	En vandret flytning af eksisterende spor.
5.24	Stabilisering	Forbedring af stabilitetsforholdene på lokaliteter med urolig underbygning.

Nr.	Begreb	Definition
5.25	Teoretisk råjordsplanum	Det teoretiske råjordsplanum er beliggende i den kote der svarer til at ballast og underballast netop har den krævede tykkelse anført som BN1-krav for sporfornyelse i [1.1] BN1-6.
5.26	Uroligt spor	Lokaliteter, hvor der er behov for midlertidige hastighedsnedsættelser eller sporjusteringer flere gange inden for et år for at overholde grænseværdierne i fejlklasse Max iht. [1.3] BN1-38.
5.27	Urolig underbygning	Lokaliteter med uroligt spor, hvor problemstillingen ikke kan henføres til forhold vedrørende sporkonstruktionen, ballastlaget, underballastlaget eller afvandingen, men derimod til forhold under råjordsplanum.

6. DESKRIPTORER

Afstivning, banedæmning, baneskråning, direkte fundering, forankring, geoteknik boring, geoteknik projekteringsgrundlag, geoteknik projekteringsrapport, geoteknik undersøgelse, geotekniske data, hydraulisk brud, jordanker, jordkonstruktion, kritisk hastighed, observationsmetoden, opfyldning, primær jordkonstruktion, pælefundering, resonans, sekundær jordkonstruktion, støttekonstruktion, tilsyn, totalstabilitet, tøjningskompatibilitet, banens underbygning, urolig underbygning, uroligt spor.

7. ANVENDELSESOMRÅDE

Banenormen skal anvendes for jordkonstruktioner, hvor Banedanmark er infrastrukturforvalter.

Banenormen skal anvendes:

- For nyanlæg.
- For eksisterende, primære jordkonstruktioner, hvor der foretages opgradering og/eller stabilisering.
- For midlertidige, primære jordkonstruktioner.
- Ved arbejder i nærhed af jernbaneområdet, hvor jernbaneloven i henhold til afsnit 14.1 træder i kraft.

For primære jordkonstruktioner er denne banenorm gyldig for toghastigheder til og med 250 km/t, og hvor der samtidig anvendes lastkonfigurationer anført som BN1-krav i [1.4] BN1-59.

Hvor et infrastrukturarbejde finder sted inden for anvendelsesområdet for en eller flere TSI'er og udgør et nyanlæg, 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 evt. skal bekræftes af et notified body for relevante projekter på TSI-omfattede strækninger.

8. DISPENSATION

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

9. HISTORIK

Denne banenorm er første udgave, og der er således ingen historik set i forhold til tidligere udgaver af samme banenorm. Historikken, set i forhold til øvrige banenormer, kan sammenfattes til:

- Det geoteknisk faglige indhold fra BN1-59-4 er med udgivelsen af BN1-59-5 overført til udkast til TM61. De geoteknisk relevante regler fra udkast til TM61 er overført til denne banenorm.
- De geoteknisk relevante regler fra TM62 er overført til denne banenorm.
- BN1-8-1 udgår, og relevante dele herfra er overført til denne banenorm:
 - Jordarters kvalitetsklasse (K0-, K1-, K2- og K3-jord) udgår, og er erstattet af begreberne "god underbund" og "ringe underbund", som defineret i afsnit 5 i denne banenorm.
 - Råjordsplanums bæreevneklasser udgår og erstattes af funktionskrav.

10. GEOTEKNISK PROJEKTERINGSGRUNDLAG

10.1 BN1 Projekteringskrav

Primære jordkonstruktioner skal henføres til høj konsekvensklasse, CC3, for midlertidige såvel som permanente situationer.

Note 10.1-1:

For spor i drift henvises der til [1.5] BN1-185 med hensyn til udgravningsprofiler der opfylder kravet til høj konsekvensklasse, CC3.

Geoteknik kategori 2 eller 3 (defineret i [2.1] DS/EN 1997-1) skal anvendes for alle jordkonstruktioner.

Ved nyanlæg og ved stabilisering af eksisterende primære jordkonstruktioner, der funderes på ringe underbund, skal disse behandles i geoteknik kategori 3, når plasticitetsindekset på de berørte aflejringer er højere end 5 %.

Note10.1-2:

Der henvises til BN2-krav i afsnit 11.2 vedrørende krav til geotekniske kategori 3.

En geoteknik undersøgelse skal have et sådant omfang, at alle betydende forhold afklares, og undersøgelsen skal således muliggøre eksempelvis gennemførelse af tilstrækkelige geotekniske analyser og vurderinger til brug for fastlæggelse af deformationer og den nødvendige sikkerhed mod brud i jordkonstruktioner. Geotekniske undersøgelser skal som minimum opfylde kravene anført i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA og [2.2] DS/EN 1997-2 inklusive DK NA.

Note10.1-3:

Der henvises til BN2-krav i afsnit 11.2 vedrørende krav til geotekniske undersøgelser.

For hastighedsopgradering og for nyanlæg, hvor toghastigheden overstiger 160 km/t, skal den kritiske hastighed måles, når mindst én af følgende betingelser er overholdt langs de øvre 10 m af jordprofilet regnet fra skinneoverkant:

- Hvis der findes jordarter af ringe underbund med et plasticitetsindeks højere end 5 %.
- Hvis der findes jordarter af ringe underbund i form af kalk H1 eller H2.

Den maksimalt tilladelige toghastighed udgør 66 % af den kritiske hastighed. Ved hastighedsopgradering skal målingen udføres fra et passerende tog med foreskrevet nødvendig detektionshastighed.

Note10.1-4:

Måling af den kritiske hastighed for en eksisterende bane erstatter ikke geotekniske undersøgelser og analyser, men målingerne kan anvendes til at identificere kritiske områder langs banen.

Note10.1-5:

Kontaktperson hos Banedanmark omkring kritisk hastighed er TSA Geoteknik.

For primære jordkonstruktioner gælder, at jorden uden for brudfiguren skal have en sådan karakter, at beregnede flytninger i denne zone igennem levetiden ikke vil influere på den beregnede sikkerhed mod brud.

Ved enhver nedbringning af konstruktionselementer skal det vurderes, om der er geotekniske forhold, hvor nedbringningen kan forårsage flytning af spor. Vurderingen skal indeholdes i den geotekniske projekteringsrapport.

Note10.1-6:

Der henvises til BN2-krav i [1.3] BN1-38 vedrørende arbejder omkring spor i drift, der kan påvirke sporets beliggenhed.

10.2 BN1 Projekteringstilfælde

Den kritiske grænsetilstand for banen skal lægges til grund for design.

Parametrene for jorden skal fastsættes ud fra drænbetingelser for jordkonstruktionen og lastens varighed. Ved eftervisning i drænet tilstand, skal centrifugalkræfter og kræfter fra sidestød udelades, hvis banens underbygning kun kan reagere udrænet på laster af kort varighed.

Note 10.2-1:

Centrifugalkræfter og kræfter fra sidestød kan kun optræde, hvis toget er i fart. Hvis passagetiden for toget er kortere end hvad drænbetingelserne kræver for at initiere en tilstrækkelig grad af dræning, vil jordens respons på centrifugalkræfterne og sidestød kun kunne være udrænet.

Note 10.2-2:

Når leraflejringer eller indbygget fyld karakteriseres ved et plasticitetsindeks, $I_p \geq 7\%$ og et lerindhold $\geq 17\%$, vil laster, der kun virker i kort tid, alene kunne medføre et udrænet brud i disse aflejringer. For en lerdæmning vil den lodrette toglast kunne virke som en langtidslast, mens centrifugalkræfter og kræfter fra sidestød er korttidslaster.

10.3 BN2 Levetid

Jordkonstruktioner skal dimensioneres på basis af en forventet levetid på 120 år, hvoraf de første 25 år skal være uden reparation af betydning. Konstruktionsdele, der erfaringsmæssigt ikke kan påregne at have en levetid på 120 år, skal kunne udskiftes/forstærkes uden væsentlige indgreb i konstruktionen og på sådan en måde, at generne for togtrafikken minimeres.

10.4 BN1 Geoteknisk dimensionering ved beregning

10.4.1 Generelt

Hvis man indenfor gyldighedsområdet af BN1-188 arbejder med en bane, hvis bæreevne/stabilitet ikke er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, BN1, Eksisterende Anlæg, skal banen stabiliseres.

Ved stabilisering af en eksisterende jordkonstruktion skal der dokumenteres høj konsekvensklasse, CC3.

Ved anlæggelse af nyt spor langs et eksisterende spor, hvor toglasten og hastigheden på det eksisterende spor ikke øges, skal følgende krav dokumenteres:

- Laster på nyt spor defineres i henhold til BN1-krav for nyanlæg i [1.4] BN1-59.
- Laster på eksisterende spor defineres i henhold til BN1-krav i [1.4] BN1-59.
- Sikkerheden mod brud for alle brudformer, der involverer nyt spor, skal beregnes med partialkoefficienter svarende til høj konsekvensklasse, CC3.
- Sikkerheden mod brud af eksisterende spor, væk fra nyt spor, må ikke reduceres.
- Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10, Geometriske minimumskrav, skal overholdes for eksisterende spor.

Geoteknisk dimensionering ved beregning skal udføres ved anvendelse af analytiske og/eller numeriske modeller, og beregningerne skal dokumenteres. Anvendes der en numerisk model i beregningen af brudgrænsetilstanden for primære jordkonstruktioner, skal det verificeres og dokumenteres, at den antagede brudfigur er den kritiske brudfigur, og at resultatet fra modellen repræsenterer en approksimativ korrekt værdi.

Note 10.4.1-1:

Resultatet fra et stabilitetsprogram kan eksempelvis verificeres ved anvendelse af finit elementmetoden for udvalgte snit.

Note 10.4.1-2:

Der henvises til [4.2] Bearing Capacity, Comparison of Results from FEM and DS/EN 1997-1 DK NA:2013, der beskriver nogle udvalgte beregningstilfælde, hvor bæreevneberegninger fra [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA er sammenlignet med resultater fra finit elementanalyser.

Hvis der foretages ændringer på lasten eller geometrien af en eksisterende jordkonstruktion skal det dokumenteres, at "sikkerheden mod brud ikke reduceres". Dette krav omfatter følgende:

- "Sikkerheden mod brud" skal defineres som værdien af tilbageregne partialkoefficienter for jordens styrke.
- Tilbageregne partialkoefficienter skal bestemmes på baggrund af finit elementmetoden, og værdierne skal angives med to decimaler (eksempelvis 1,21).
- At sikkerheden mod brud ikke reduceres betyder, at den tilbageregne partialkoefficient for situationen "efter", tillades reduceret med op til 4 %, når der sammenlignes med situationen "før".

Note 10.4.1-3:

Dokumentationen for at sikkerheden mod brud ikke reduceres hviler på en sammenligning af to beregninger: dels en beregning af de eksisterende forhold og dels en beregning af de

fremtidige forhold, og det er forskellen mellem disse beregninger, der beskriver hvorvidt sikkerheden mod brud er fastholdt. Idet de eksisterende forhold i forvejen repræsenterer en bane, der i henhold til [1.5] BN1-185, er i orden, accepteres det, at man opnår tilbageregne partialkoefficienter, der ikke efterlever kravene til en given konsekvensklasse.

Når denne banenorm anfører, at sikkerheden mod brud ikke må reduceres, så accepteres det, at sikkerhedsniveauet for jordkonstruktioner kan reduceres til et niveau svarende til høj konsekvensklasse, CC3.

Ved anvendelse af nye materialer, nye materialesammensætninger og nye konstruktionsprincipper i forbindelse med primære jordkonstruktioner gælder, at der skal foreligge anerkendte forsøgsresultater, som dokumenterer anvendelighed, stivhed og styrke i hele jordkonstruktionens levetid, samt at et brud i jordkonstruktionen sker varslet (før konstruktionen går i brud, udviser den tegn på brud). Ordet "nye" refererer til materialer, materialesammensætninger og konstruktionsprincipper, som enten ikke har været anvendt af hvor Banedanmark er infrastrukturforvalter i en tilsvarende jordkonstruktion, eller som kun har været anvendt på baggrund af en tildelt dispensation.

Dimensionering af andre konstruktionsmaterialer end jord, skal udføres i henhold til [1.4] BN1-59.

Styrkeparametrene i en jordkonstruktion skal bestemmes under hensyntagen til kompatible tøjninger i de relevante lag af fyld og intakte aflejringer.

Note 10.4.1-4:

Normalt bestemmes forskydningsstyrken fra geotekniske laboratorieforsøg som den maksimale forskydningsspænding i brudfasen svarende til:

- Triaks: Indenfor de første 10 % aksial tøjning.
- Direct simple shear: Inden for de første 15 % forskydningstøjning.

Vandrette reaktioner, der kan opstå som følge af, at lodrette kræfter overføres via buevirkning i jorden, skal kunne optages i konstruktionen.

Note 10.4.1-5:

Buevirkning kan eksempelvis forekomme ved spredt pæledæk.

10.4.2 Laster

Laster for jordkonstruktioner skal fastlægges i henhold til BN1-krav i [1.4] BN1-59. Centrifugalkræfter, kræfter fra sidestød samt bremse- og accelerationskræfter skal medtages hvor relevant.

Note 10.4.2-1:

Der henvises til afsnit 10.2 med hensyn til centrifugalkræfter og laster fra sidestød.

10.4.3 Jordens egenskaber

Den karakteristiske værdi af den effektive, plane friktionsvinkel for ballast skal dokumenteres ved geotekniske laboratorieforsøg, hvis der anvendes en værdi højere end 42°.

10.4.4 Geometriske data

Der skal anvendes en repræsentativ geometri, hvor planlagte terrænændringer (eksempelvis afvandingsgrøfter, sporflytninger og banedæmningsudvidelser), skrå laggrænser, og nuværende samt planlagte konstruktioner inkluderes.

10.4.4.1 *Jordoverflade og grundvandsstand*

Jordoverfladens geometri, laggrænsernes placering og grundvandsstand i området skal fastlægges i en sådan afstand fra banen, at dimensioneringsforudsætninger for en jordkonstruktion er repræsentative.

10.4.4.2 *Vandindvinding og grundvandssænkning*

I områder, hvor der foretages vandindvinding eller anden form for permanent grundvandssænkning, skal det naturlige grundvandspotentialer fastlægges. Konsekvens af ophørt vandindvinding skal indgå i en samlet geoteknisk vurdering af projektet.

Ved nedbrud af et grundvandssækningsanlæg vil potentialet i jorden øges indtil det nedbrudte anlæg er udskiftet. I geotekniske beregninger tillades kun at anvende det potentiale, som findes i jorden umiddelbart efter at et nedbrudt anlæg er udskiftet. Disse forhold skal dokumenteres.

10.4.5 Karakteristiske værdier

10.4.5.1 *Karakteristiske og repræsentative værdier af laster*

Karakteristiske laster skal fastlægges i henhold til BN1-krav i [1.4] BN1-59. Repræsentative laster skal fastlægges i henhold til BN1-krav i [1.4] BN1-59 og i henhold til [2.1] DS/EN 1997-1 DK NA inklusive.

10.4.5.2 *Karakteristiske værdier af geotekniske parametre*

Den karakteristiske værdi af en geoteknisk parameter skal bestemmes ud fra et forsigtigt skøn af de værdier, der styrer forekomsten af den pågældende grænsetilstand.

Fastlæggelse af karakteristiske værdier skal baseres på målte og udledte værdier af relevante resultater fra laboratorie- og markforsøg i overensstemmelse med [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA og [2.2] DS/EN 1997-2 inklusive DK NA.

Mere specielle geotekniske laboratorieforsøg (avancerede geotekniske laboratorieforsøg) skal udføres på prøver, der er repræsentative for jordens in-situ tilstand. Spændingsniveauer og spændingstilstande i laboratorieforsøg skal være fastlagt ud fra projektspecifikke forhold, hvilket skal dokumenteres.

For eksisterende, primære jordkonstruktioner skal der ved bestemmelse af de karakteristiske styrkeparametre for jorden suppleres med en tilbageregning af banekonstruktionens stabilitet.

Tilbageregningen skal foretages i det karakteristiske brudstadium med repræsentative laster for den aktuelle strækning med $\alpha = 1,0$, og beregningerne skal dokumenteres.

Note 10.4.5.2-1:

Eksisterende baneskråningers sikkerhed mod stabilitetssvigt er oftest ukendt. Skråningerne er dog ikke i brud, hvorfor de som minimum har en sikkerhed svarende til en karakteristisk brudtilstand udsat for den aktuelle toglast fra de tog, der befarer eller har befaret strækningen. Såfremt der ved tilbageregning benyttes en for høj toglast eller for høje vandspejl, vil det udmunde i styrkeparametre, der kan være højere end den reelle styrke. Det er derfor væsentligt, at der ved tilbageberegning benyttes repræsentative toglaster for den enkelte strækning.

10.4.5.3 *Karakteristiske værdier af geometriske data*

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

10.4.6 Regningsmæssige værdier

10.4.6.1 *Regningsmæssige og repræsentative værdier af laster*

De regningsmæssige og repræsentative laster skal fastlægges på baggrund af de karakteristiske værdier i overensstemmelse med BN1-krav i [1.4] BN1-59 samt af [2.1] DS/EN 1997-1 DK NA.

10.4.6.2 *Regningsmæssige værdier af geotekniske parametre*

Den regningsmæssige værdi af en geoteknisk parameter skal bestemmes på baggrund af den karakteristiske værdi ved anvendelse af partialkoefficienter fra [2.1] DS/EN 1997-1 DK NA.

10.4.6.3 *Regningsmæssige værdier af geometriske data*

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

10.4.6.4 *Regningsmæssige værdier af konstruktionsmaterialers egenskaber*

De regningsmæssige styrkeegenskaber for konstruktionsmaterialer og den regningsmæssige bæreevne for konstruktionselementer skal fastlægges i henhold til [1.4] BN1-59.

10.4.7 Brudgrænsetilstande

Partialkoefficienter for jordens styrke skal fastlægges i henhold til [2.1] DS/EN 1997-1 DK NA.

10.4.8 Anvendelsesgrænsetilstande

For jordkonstruktioner skal anvendelsesgrænsetilstanden undersøges og dokumenteres.

Note 10.4.8-1:

Der henvises til BN2-krav i afsnit 22 vedrørende totale sætninger og differenssætninger.

10.5 BN1 Dimensionering ud fra erfaringsregler

Ved anvendelse af erfaringsregler i geoteknisk projektering, skal baggrunden og gyldighedsområdet for erfaringsreglen dokumenteres.

10.6 BN1 Belastningsforsøg og modelforsøg

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

10.7 BN1 Observationsmetoden

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

10.8 BN1 Den geotekniske projekteringsrapport

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

Note 10.8-1:

Der henvises til BN2-krav i afsnit 11.3.2 vedrørende den geotekniske projekteringsrapport.

11. KRAV GEOTEKNISK PROJEKTERINGSGRUNDLAG

11.1 BN2 Generelt

Hvis brudfigurer eller konstruktionselementer overskrider de relevante entreprisegrænser, skal Banedanmarks tekniske projekter godkende dette.

Brugen af sikkerhedsindeksmetoden for jordkonstruktioner er ikke tilladt.

Note 11.1-1:

Brugen af sikkerhedsindeksmetoden vil kræve en dispensation. Selve dispensationen bør blandt andet indeholde rådgiverens erfaring med metoden, det planlagte omfang af geotekniske undersøgelser (laboratorieforsøg inklusive) til etablering af relevante fordelingsfunktioner samt hvilke approksimationer, der tænkes anvendt for beskrivelse af svigtfunktionen. Der henvises til minimumsværdier for sikkerhedsindeks i DS/EN 1990 DKNA.

11.2 BN2 Geoteknisk undersøgelse

Følgende skal betragtes som minimumskrav ved udførelse af en geoteknisk undersøgelse for jordkonstruktioner:

- Geotekniske borer skal udføres som forede borer med fuld prøvetagning og styrkemålinger. I kohæsive aflejringer skal der udføres to vingeforsøg pr. m og i friktionsjord skal der udføres SPT pr. 1,0 m. Som alternativ til disse to målemetoder kan der anvendes CPTU.
- Ved undersøgelse af en banedæmning skal der udføres borer gennem og/eller ved siden af banedæmningen.
- Rumvægtsbestemmelse af de enkelte jordlag skal udføres på intakte jordprøver.
- Alle borer skal forsynes med pejlerør på mindst 40 mm diameter dog således, at der skal anvendes mindst 63 mm, såfremt der skal optages vandprøver. Boringen filtersættes ud fra den geologiske lagfølge og ud fra i hvilket lag man ønsker at kunne måle vandspejlet. Ud for den slidsede del af pejlerøret skal borehullet tilfyldes med filtersand. Som afpropning opadtil og til forsegling i lerede lag afpropes med bentonit. Pejlerør uden for sporkassen skal sikres med et betonmufferør placeret i terrænniveau. Pejlerør placeret i sporkassen kan etableres uden brug af betonmufferør. Top af pejlerør føres op gennem skærver og afsluttes få centimeter over disse. Alle pejlerør skal lukkes i toppen med en vandtæt prop. Alle pejlerør skal indmåles i x, y, z så genfindning sikres og vandspejl efterfølgende kan måles nøjagtigt.

Note 11.2-1:

Ballastboringer, der føres ned under råjordsplanum, kan anvendes som lagfølgeboringer såfremt de optagne prøver behandles og opbevares som for geotekniske borer, og såfremt

prøverne beskrives i henhold til [3.1] DGF-bulletin 1. Jordprøver fra ballastboringer henføres til kategori C, [2.2] DS/EN 1997-2, afsnit 3.4, Soil Sampling.

Grundvandspejlenes beliggenhed skal registreres ved hjælp af målinger i pejlerør. Målingerne skal udføres når vandspejlene har stabiliseret sig efter borearbejdets forstyrrelse.

Note 11.2-2:

Pejling af grundvandets beliggenhed opfattes som punktmålinger. Sæsonvariationer er kun indeholdt i det tidsrum, der dækkes af pejlingernes placering i tid.

Geotekniske undersøgelser i geoteknisk kategori 3 skal omfatte CPTU, og skal indeholde mere specielle geotekniske laboratorieforsøg i de kritiske aflejringer med det formål, at udlede relevante karakteristiske parametre for disse aflejringer. CPTU skal have en penetrationsdybde, der mindst svarer til dybden af de geotekniske boringer.

Note 11.2-3:

Tolkning af CPTU-værdier og tilhørende udledning fra målte til afledte værdier bør udføres i henhold til [4.1] Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice.

Note 11.2-4:

Antallet og typen af mere specielle geotekniske laboratorieforsøg afhænger af, om man ønsker at påvise, at aflejringerne opfører sig som man erfaringsmæssigt vil forvente, eller om forsøgs-serien tjener til at opbygge erfaring.

Hvis beregninger indeholder effekten af den effektive kohæsion, skal den effektive kohæsion dokumenteres ved geotekniske laboratorieforsøg på sammenlignelige jordbundsforhold.

Geotekniske boringer inklusive styrkeforsøg og grundvandspejlinger skal indberettes digitalt til den fællesoffentlige database (Jupiter), der forvaltes af GEUS. Det er den enkelte rådgivers ansvar at sikre, at boringerne bliver offentligt tilgængelige i Jupiter.

11.3 BN1 Geotekniske rapporter

11.3.1 Geoteknisk undersøgelsesrapport

Formålet med undersøgelsesrapporten er at oplyse omfanget og resultater af den geotekniske undersøgelse. Rapporten skal i relevant omfang indeholde:

- Formål og omfang af undersøgelsen.
- Beskrivelse og beliggenhed af projektet.
- Situationsplan med placering af undersøgelsespunkter og jordkonstruktioner.
- Datoer for udførelse af mark- og laboratoriarbejdet.
- Anvendt type feltudstyr.
- Opmålingsdag.
- Konsulenter og underleverandører.

- Feltrekognoscering; geologisk beskrivelse overordnet og ud fra borer, terrænforhold, primært grundvandsspejl, nabokonstruktioner.
- Banens historie.
- Lokal erfaring.
- Grundvandsspejlets beliggenhed og sæsonvariationer. Dato for pejling og dato for afslutning af borearbejdet for de enkelte borer skal fremlægges.
- Gruppering og præsentation af de geotekniske, målte data for hvert lag.
- Situationsplan.
- Tværprofiler med boreprofiler indtegnet som basis for en geologisk model.

Prøvebeskrivelse skal foretages i henhold til [3.1] Dansk Geoteknisk Forenings Bulletin 1: "Vejledning i Ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse".

11.3.2 Geoteknisk projekteringsrapport

Der skal udarbejdes en projekteringsrapport for alle projekter, der hører under denne bane-norm. Projekteringsrapporten skal oplyse forudsætninger, data, beregningsmetoder og -resultater af eftervisning af sikkerhed og anvendelighed. Rapporten skal som minimum indeholde følgende:

- Beskrivelse af baneområde og omgivelse (terrænforhold).
- Beskrivelse af jordbundsforhold og henvisning til de udførte geotekniske rapporter.
- Beskrivelse af projektet omfattende blandt andet:
 - Hvilke ændringer introduceres på banen?
 - Udførelsestakt, herunder hvorvidt arbejdet udføres i sporspærring eller med reduceret toghastighed.
- Tværprofiler af eventuelle banedæmninger, udført minimum per 20 m i banens længderetning. Tværprofilet skal vise terræn samt placering af spor. Alle relevante længder skal angives i forhold til spormidte. Opmåling udføres som angivet i [1.7] BN2-94.
- Baggrund for og konklusioner af karakteristiske parametre for jord og vandspejl. Placering af vandspejlet skal baseres på en vurdering af nærliggende grundvandssænkninger/vandindvindinger og disses indflydelse.
- Angivelse af regningsmæssige værdier for egenskaber af jord.
- Geotekniske beregninger og tegninger, hvor del- og hovedresultater kan følges konsistent igennem hele rapporten. Hvis udstrækningen af eventuelle brudfigurer kommer udenfor entreprisegrænserne for det aktuelle projekt, skal dette anføres i indledningen til projekteringsrapporten.
- Forhold der skal kontrolleres under udførelse (god/ringe underbund) eller som kræver vedligeholdelse/overvågning.
- Plan for relevant tilsyn og overvågning af den færdige jordkonstruktion.

- Rapporten skal underskrives af den (eller de) person(er), der har udført kvalitetssikring.

I henhold til [2.1] DS/EN 1997-1, afsnit 2.8 "Geoteknisk projekteringsrapport" skal resultatet fra kontrolinspektioner indeholdes i projekteringsrapporten.

For banedæmninger skal projekteringsrapporten også belyse:

- Fordele og ulemper ved forskellige løsningsmuligheder og argumentation for valg af den detailprojekterede løsning.
- Ved udvidelse af eksisterende banedæmning:
Styrke og stivhedsbetragtninger for zonen mellem gammel og ny banedæmning, herunder krav til udførelse.
- Ved etablering af banedæmning på skrånende terræn:
Sikring mod vandrette flytninger af banedæmningen i kontaktzonen mellem intakt jord og indfyldt materiale.

11.3.3 Geoteknisk kontrolrapport

Der skal udarbejdes en geoteknisk kontrolrapport for alle projekter, der hører under denne banenorm. Rapporten skal som minimum indeholde følgende:

- Indledning
- En gengivelse af alle geotekniske kontrolkrav til den aktuelle konstruktion med reference til relevante normer, kontraktsdokumenter og øvrigt materiale - eksempelvis den geotekniske projekteringsrapport. De geotekniske kontrolkrav skal angives i form af målemetode, målested og acceptgrænser for målingerne.
- De udførte målinger med reference til målte værdier, målemetode og målested.
- En sammenfatning, hvor målte værdier sammenlignes med de tilhørende acceptgrænser.
- En samlet konklusion, der tager stilling til om kontrolkravene til den projekterede konstruktion er overholdt for den udførte konstruktion.

12. BN1 GEOTEKNISKE DATA

12.1 Generelt

Laboratorie- og markforsøg skal udføres i henhold til [2.2] DS/EN 1997-2 inklusive DK NA.

12.2 Geotekniske undersøgelser

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

Note 12.2-1:
Der henvises til BN1-krav i afsnit 10.1.

Note 12.2-2:
Der henvises til BN2-krav i afsnit 11.2 vedrørende geotekniske undersøgelser.

12.3 Fastsættelse af geotekniske parametre

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA eller [2.2] DS/EN 1997-2 inklusive DK NA.

12.4 Den geotekniske undersøgelsesrapport

Den geotekniske undersøgelsesrapport skal udarbejdes efter anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

Note 12.4-1:
Der henvises til BN1-krav i afsnit 11.3.1 vedrørende den geotekniske undersøgelsesrapport.

13. BN1 KONTROL MED UDFØRELSE

13.1 Generelt

Der skal føres geoteknisk kontrol med udførelsen af primære og sekundære jordkonstruktioner i henhold til [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

Note 13.1-1:
Med hensyn til kontrol og kontrolomfang henvises til DS/EN 1997-1, afsnit 2.8, (4)P samt (5).

Den geotekniske kontrol skal i udførelsesfasen suppleres med målinger på intakt og tilfyldt jord til dokumentation af antagelserne under projekteringen.

Forhold der kræver kontrol under udførelsen, skal præciseres i den geotekniske projekteringsrapport.

14. OPFYLDNING, AFVANDING, GRUNDFORBEDRING OG -FORSTÆRKNING

14.1 BN1 Generelt

Opfyldning, afvanding, grundforbedring og grundforstærkning skal gennemføres i overensstemmelse med [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA, afsnit 5.1.

Der må ikke uden tilladelse fra Banedanmark foretages udgravning, opfyldning eller i øvrigt placeres genstande i nærheden af jernbaneområdet, hvis der kan opstå fare for jernbanedriften. Tilladelse efter forudgående ansøgning kan kun gives i særlige tilfælde og på betingelser, der sikrer rettidigt samarbejde med Banedanmark om fremtidig vedligeholdelse og fornyelse af foranstaltningerne for ansøgerens og efterfølgende ejeres foranstaltning og regning. Tilladelsen skal forinden foranstaltningernes igangsætning tinglyses som en byrde med prioritet forud for pantegæld på de respektive ejendomme.

14.2 BN1 Opfyldning

Ved indbygning af fyldmaterialer i primære jordkonstruktioner skal der anvendes jord, der i in-situ tilstanden mindst svarer til kategorien god underbund. Friktionsjordarter af ringe underbund tillades anvendt, når disse efter indbygning overholder styrke- og klassifikationskravene angivet for god underbund. Der må ikke indbygges sten større end 100 mm.

Ved sideudvidelser af bandedæmninger med en bredde på under 1,0 m skal der anvendes jord, svarende til mindst god underbund i form af friktionsfyld med et uensformighedstal $C_u > 5$.

Under udførelsen skal det dokumenteres, at det komprimerede materiale og de tilhørende komprimeringskriterier leder til et materiale med en styrke og en stivhed, der mindst svarer til antagelserne fra projekteringen.

Note 14.2-1:
Der henvises til BN2-krav i afsnit 14.7 vedrørende indbygning.

14.3 BN2 Opfyldning

For nyanlæg skal fyld af kalk være beliggende mindst 1,2 m under ballastoverside.

14.4 BN1 Afvanding

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

Note 14.4-1:
Der henvises til [1.2] BN1-11.

14.5 BN1 Grundforbedring og -forstærkning

For nyanlæg skal silt, morænesilt, H1-kalk og H2-kalk fjernes, når det ligger mindre end 1,2 m under ballastoverside.

Hvis der for nyanlæg træffes ler af palæogen oprindelse i de øvre 4,0 m under råjordsplanum, skal den tekniske projektejer for geoteknik ved Banedanmark informeres når de geotekniske boreprofiler foreligger. Den geotekniske projekteringsrapport skal angive hvor meget af det palæogene ler, der bliver liggende i banens underbygning, og rapporten skal argumentere for den valgte løsning.

Note 14.5-1:
Der henvises til BN2-krav i afsnit 14.8 med hensyn til beplantning nær banen.

14.6 BN2 Grundforbedring og -forstærkning

Hvor en eksisterende banedæmning udvides skal denne afømmes for muld og træstød langs overfladen, hvor den ny og den eksisterende banedæmning bygges sammen. For banedæmninger af ler skal der udføres trappeformet afgravning. Trapperne skal udføres med en højde på cirka 0,5 m og skal udføres samtidig med opbygning af den ny dæmningsdel.

For nyanlæg skal fyld af kalk være beliggende mindst 1,2 m under ballastoverside.

Styrketilvækst ved tilførsel af kalk for primære jordkonstruktioner skal udelades af eventuelle beregninger. Hvis der anvendes kalkstabilisering af en jordkonstruktion, skal dette fremgå af den geotekniske projekteringsrapport, hvor effekten af kalkstabilisering skal vurderes.

Note 14.6-1:
Er anlægsudgifterne ved overholdelse af dette krav betydelige, kan der på baggrund af Life Cycle Cost-betragtninger muligvis opnås dispensation fra kravet, hvis effekten ved tilsætning af kalk dokumenteres.

En eventuel forstærkende effekt fra styrken og stivheden af geonet skal udelades af eventuelle beregninger.

Note 14.6-2:
Ved indbygning af underballast på eksisterende råjordsplanum kan der anvendes geonet i overensstemmelse med [1.1] BN1-6.

14.7 BN2 Jordarbejder

I en zone fra råjordsplanum og 0,40 m ned i banens underbygning skal der for nyanlæg, ved stabilisering samt for sideflytning på mere end 0,20 m opnås følgende stivheder, der skal dokumenteres:

Hastighed, V	$V \leq 160$ km/t	$160 < V \leq 200$ km/t	200 km/t < V
E_{v2}^A [MPa]	45	60	Ikke defineret

^A: E_{v2} refererer til genbelastningsgrenen fra pladebelastningsforsøg, hvor der anvendes en mindste pladediameter på 300 mm.

Tabel: 14.7-1

Minimumskrav til stivheder langs den øvre 0,4 m zone af banens underbygning.

Note 14.7-1:

Minifaldlod tillades anvendt når værdierne er kalibreret i forhold til statiske pladebelastningsforsøg, gennemført for det enkelte projekt.

Under zonen på 0,4 m skal der for nyanlæg mindst dokumenteres $E_{v2}^A = 30$ MPa for de enkelte lag i opfyldningen. Kravet er gældende for det tidspunkt, hvor banen tages i drift.

Jordarbejder skal udføres, således at funktionsmæssige krav til tværprofiler er opfyldt i henhold til [1.1] BN1-6 og [1.2] BN1-11.

Hvis der skal udskiftes jord under grundvandsspejlet (som eventuelt kan være sænket), skal den nye fyld svare til friktionsjord af god underbund med tillægskravet, at uensformighedstallet skal være $C_U > 2,5$.

Inden der udgraves til færdigt råjordsplanum, skal det ved midlertidige foranstaltninger sikres, at færdigt råjordsplanum er tørt og ikke oplødes, indtil afvandingen er virksom.

Note 14.7-2:

For at lette etablering af sporkasse, og til sikring af råjordsplanum indtil der udlægges underballast, kan der anvendes kalkstabilisering af de øvre cirka 0,20 m, regnet fra råjordsplanum og nedefter.

Færdigt råjordsplanum skal udføres med tværfald i henhold til BN2-krav i [1.1] BN1-6, og tværfaldet skal afglattes til en sådan jævnhed, at vandsamlinger (pytter) ikke forekommer.

Geotekstil må kun anvendes som adskiller af jordlag. Geotekstil må ikke lægges på tværs af afvandingens naturlige strømningsretning, for eksempel hen over en drænrende.

14.8 BN2 Udtørring i beplantningszoner

Nyanlagte strækninger udlagt på lerarter karakteriseret ved $I_p > 15$ % eller postglaciale, kohæsive jordlag tillades ikke beplantet med løvfældende træer og buske indenfor en afstand af 7 m fra nærmeste spormidte. I zonen mellem 7 og 11 m fra nærmeste spormidte tillades kun buske, maksimalt bliver 4 m høje.

15. BN1 DIREKTE FUNDERING I TERRÆN ELLER I AFGRAVNING

15.1 Generelt

Reglerne i afsnit 15 gælder for fundering af sporkassen i terræn eller i afgravning. Reglerne er tillige gældende for direkte funderede fundamenter.

15.2 Grænsetilstande

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

15.3 Laster og projekteringstilfælde

Laster og projekteringstilfælde skal fastlægges i henhold til BN1-krav i [1.4] BN1-59.

15.4 Projekterings- og udførelsesmæssige hensyn

Banen skal funderes på aflejringer, hvor kravene til de relevante grænsetilstande kan overholdes.

Sveller skal modelleres svarende til en repræsentativ stivhed og forskydningskapacitet.

15.5 Projektering af brudgrænsetilstand

Bæreevner skal beregnes med den analytiske metode fra [2.1] DS/EN 1997-1 DK NA eller ved hjælp af numeriske modeller.

Note 15.5-1:
Krav til brugen af numeriske modeller er indeholdt i afsnit 10.4.1.

Ved brug af numeriske modeller til beregning af bæreevnen, skal det dokumenteres, at de numeriske værktøjer leder til bæreevnefaktorer, der er sammenlignelige med værdierne fra [2.1] DS/EN 1997-1 DK NA.

Placeringen af grundvandsspejlet skal i projekteringen fastsættes og dokumenteres ud fra, hvad der er mest kritisk for jordkonstruktionen.

Note 15.5-2:
Den mest kritiske placering af grundvandsspejlet kan medføre, at afvandingsgrøfter beregningsteknisk er vandfyldte.

I forbindelse med undersøgelse for robusthed af direkte funderede fundamenter, skal det dokumenteres, at excentriciteten, e delt med fundamentsbredden B , overholder kravet om $e/B < 0,30$.

15.5.1 Nyanlæg

For nyanlæg skal der dimensioneres for laster i henhold til anførte BN1-krav i [1.4] BN1-59, svarende til nyanlæg, og partialkoefficienter svarende til høj konsekvensklasse, CC3.

15.5.2 Sporflytning

Hvis man indenfor gyldighedsområdet af BN1-188 arbejder med en bane, hvor bæreevne/stabilitet er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, BN1, Eksisterende Anlæg, skal kravene i afsnit 15.5.2.1 dokumenteres ved sideflytning, mens kravene i afsnit 15.5.2.2 skal dokumenteres ved højdeflytning.

Grænserne for højde- og sideflytning i afsnittene 15.5.2.1 og 15.5.2.2 skal opfattes som de akkumulerede side- og højdeflytninger gennem de sidste 10 år.

Note 15.5.2-1:
Hvis bæreevne/stabilitet ikke er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, BN1, Eksisterende Anlæg, henvises til afsnit 10.4.1.

Note 15.5.2-2:
Der henvises til funktionskravene i [1.2] BN1-11 med hensyn til afvanding.

15.5.2.1 Sideflytning

Ved sideflytning af spor gælder følgende krav:

- Sideflytning $\leq 0,10$ m:
 - Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
- $0,10$ m $<$ Sideflytning $\leq 0,20$ m:
 - Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
 - Sikkerheden mod brud må ikke reduceres.
- $0,20$ m $<$ Sideflytning $\leq 1,50$ m:
 - Jordkonstruktionen henføres til høj konsekvensklasse, CC3.
- $1,50$ m $<$ Sideflytning:
 - Banen projekteres i henhold til afsnit 15.5.1, Nyanlæg.

Note 15.5.2.1-1:
Der henvises til BN2-krav i afsnit 14.7 vedrørende stivhed af banens underbygning ved sideflytning af spor på mere end 0,20 m.

15.5.2.2 Højdeflytning

Ved højdeflytning af teoretisk råjordsplanum gælder følgende krav:

- Højdeflytning $\leq 0,20$ m:
 - Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
- $0,20$ m < Højdeflytning $\leq 0,50$ m:
 - Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
 - Sikkerheden imod brud må ikke reduceres.
- $0,50$ m < Højdeflytning:
 - Banen projekteres i henhold til afsnit 15.5.1, Nyanlæg.

Hvis teoretisk råjordsplanum hæves således at den primære jordkonstruktion overgår til en banedæmning, skal jordkonstruktionen dimensioneres i henhold til afsnit 21.5.1, Nyanlæg, og øvrige krav fra afsnit 15.5.2.2 bortfalder.

Note 15.5.2.2-1:

Kravene til højdeflytning er formuleret i forhold til flytning af teoretisk råjordsplanum og ikke i forhold til flytning af skinneoverkant (S0-plan).

15.5.3 Opgradering, større aksellast

For en bane, hvor bæreevnen/stabilitet er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, Eksisterende anlæg, skal der ved opgradering af aksellaster fra 225 kN til maksimalt 250 kN dokumenteres, at banen kan henføres til middel konsekvensklasse, CC2 med laster svarende til bæreevneklasse E4 for eksisterende jordkonstruktioner i [1.4] BN1-59.

For en bane, hvis bæreevne/stabilitet er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, BN1, Eksisterende Anlæg, skal der ved opgradering til aksellaster på maksimalt 225 kN svarende til bæreevneklasse D4, dokumenteres følgende krav:

- Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
- Sikkerheden mod brud må ikke reduceres.

Note 15.5.3-1:

Hvis bæreevne/stabilitet ikke er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, BN1, Eksisterende Anlæg, henvises til afsnit 10.4.1.

Note 15.5.3-2:

Visse banestrækninger har tidligere været anvendt til højere aksellaster eller højere hastigheder, end hvad strækningerne anvendes til i dag. Ved opgradering af eksisterende bane må historiske data anvendes til vurdering af, om sikkerheden mod brud reduceres som følge af en opgradering.

15.5.4 Opgradering, større hastighed

Ved opgradering af hastigheder på mere end 200 km/t og maksimalt 250 km/t skal det dokumenteres, at banen kan henføres til høj konsekvensklasse, CC3 med laster svarende til BN1-krav for nyanlæg i [1.4] BN1-59.

For en bane, hvis bæreevne/stabilitet er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, BN1, Eksisterende Anlæg, skal der ved opgradering til hastigheder til og med 200 km/t dokumenteres følgende:

- Kravene fra [1.4] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
- Sikkerheden mod brud må ikke reduceres.

Note 15.5.4-1:

Hvis bæreevne/stabilitet ikke er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, BN1, Eksisterende Anlæg, henvises til afsnit 10.4.1.

Note 15.5.4-2:

Der henvises til BN1-krav om kritisk hastighed i afsnit 10.1.

Note 15.5.4-3:

I henhold til [1.4] BN1-59 tillades, at centrifugalkraften beregnes særskilt for hurtige og for langsomme tog.

Note 15.5.4-4:

Visse banestrækninger har tidligere været anvendt til højere aksellaster eller højere hastigheder, end hvad strækningerne anvendes til i dag. Ved opgradering af eksisterende bane må historiske data anvendes til vurdering af, om sikkerheden mod brud reduceres som følge af en opgradering.

15.5.5 Stabilisering

Sikkerheden mod brud skal efter stabilisering henføres til høj konsekvensklasse CC3, med laster svarende til BN1-krav fra [1.4] BN1-59 for den stabiliserede del. Beregningerne skal dokumenteres.

15.6 Projektering af anvendelsesgrænsetilstand

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

Note 15.6-1:

Der henvises til BN2-krav i afsnit 22 vedrørende anvendelsesgrænsetilstanden.

15.7 Tilsyn og overvågning

Tilsyn skal følge bestemmelserne i afsnit 13.

16. BN1 PÆLEFUNDERING

Rammemodstanden for pæle skal registreres og dokumenteres. For prøvepæle skal modstanden for hele indramningen registreres og dokumenteres. For produktionspæle skal de nederste 2,0 m af nedbringningen registreres og dokumenteres.

Note 16-1:

Der henvises til BN2-krav i [1.3] BN1-38 med hensyn til krav for udførelse af arbejder omkring spor i drift, der kan påvirke sporets beliggenhed.

Note 16-2:

Infrastrukturforvalteren kan stille krav om monitorering af beliggenheden af spor i drift.

For pæle, der indgår i en primær jordkonstruktion, skal den geotekniske bæreevne bestemmes på baggrund af to uafhængige metoder.

Note 16-3:

PDA / CAPWAP kan anvendes som supplement til en geostatisk beregning for pæle i ler, og som supplement til en rammeformel når pælespidsen står i sand.

Ved brug af CAP/WAP skal der testes på mindst 5 % af produktionspælene i tryk, og på mindst 10 % af produktionspælene i træk. En produktionspæl, der oplever både tryk og træk, kan kun tælles med én gang.

16.1 Grænsetilstande

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

16.2 Laster og projekteringstilfælde

Laster og projekteringstilfælde skal fastlægges i henhold til BN1-krav i [1.4] BN1-59.

17. JORDANKRE, FORANKRINGER OG AFSTIVNINGER

17.1 BN1 Generelt

Reglerne i afsnit 17 er gældende for midlertidige og permanente jordankre, forankringer og afstivninger.

Jordsøm, fjeldbolte, ekspansionsankre og skrueankre tillades ikke anvendt indenfor anvendelsesområdet af denne banenorm.

17.2 BN1 Projekterings- og udførelsesmæssige hensyn

17.2.1 Jordankre

Jordankre skal projekteres i henhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

Permanente jordankre må ikke anvendes under spor i drift.

Ankerhoveder skal kunne inspiceres gennem hele levetiden.

Note 17.2.1-1:

Hvis jordankre udsættes for gentagne vekslende lastpåvirkning henvises til [1.4] BN1-59 med hensyn til eftervisning af tilstrækkelig modstand overfor udmattelse.

Note 17.2.1-2:

Infrastrukturforvalteren kan stille krav om at ankerhovedet udformes, således at kraften i jordankret kan måles gennem jordankrets levetid.

17.3 BN2 Forankringer og afstivninger

Ved projektering af forankringer og afstivninger, skal regler og relevante henvisninger og referencer i [1.4] BN1-59 følges med følgende tilføjelse:

- Under en bane i drift skal stålkomponenter i kontakt med jord projekteres ved anvendelse af dobbelt korrosionstab i forhold til det, i henhold til DS/EN 1993-5 DK NA beregnede.

Modhold, der udformes som en jordkonstruktion, skal projekteres i henhold til relevante afsnit i denne banenorm.

Modhold, der falder udenfor begrebet "jordkonstruktion", skal projekteres i henhold til relevante regler og henvisninger og referencer i [1.4] BN1-59.

Note 17.3-1:

Hvis forankringer og afstivninger udsættes for gentagne vekslende lastpåvirkninger henvises til [1.4] BN1-59 med hensyn til eftervisning af tilstrækkelig modstand overfor udmattelse.

17.4 BN2 Afstandskrav

Midlertidige jordankre, forankringer og afstivninger under spor i drift skal overholde følgende krav:

- Den lodrette afstand fra laveste skinneoverkant (SO) til øverste overflade på forankring/afstivning skal være mindst 1,6 m.

Note 17.4-1:

Afstandskrav til krydsende ledninger er foreskrevet i BN1-13.

- Placering under sporskifter og sporskæringer tillades ikke. Det samme gælder placering under tilstødende områder op til enderne af sporskifter og sporskæringer med en udstrækning på 10 m.

Note 17.4-2:

Enderne af sporskifter og sporskæringer er indeholdt i BN1-14.

- Placering i zoner, hvor der er spring i stivhed af det materiale, der understøtter skinnen, tillades ikke. Kravet gælder for en 15 m lang strækning, startende fra stivhedsspringet.

Note 17.4-3:

Spring i stivhed vil eksempelvis kunne opleves hvor ballasteret spor overgår til ikke-ballasteret spor eller ved enden af et brodæk.

- Jordanker/forankring/afstivning skal placeres mindst 0,40 m dybere end ledninger og kabler, der går på langs af sporet.

Note 17.4-4:

Jordanker, forankringer og afstivninger bør i videst muligt omfang placeres vinkelret på spor.

18. STØTTEKONSTRUKTIONER

Med undtagelse af afsnit 18.9 BN2 Støttekonstruktioner er alle krav i afsnit 18 BN1-krav.

18.1 BN1 Generelt

Reglerne i dette afsnit skal anvendes for støttekonstruktioner.

18.2 BN1 Grænsetilstande

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

18.3 BN1 Laster, geometriske data og projekteringstilfælde

Laster og projekteringstilfælde skal fastlægges i henhold til BN1-krav i [1.4] BN1-59. Sidestød tillades fordelt over en længde, $l = 2,0 \cdot a + 4,0$ m, hvor a er afstanden fra væggen (målt i enheden meter) til den nærmeste ende af svellerne.

Støttekonstruktioner, herunder eventuelle jordankre og afstivninger, skal være dimensioneret således, at alle relevante grænsetilstande er overholdt i levetiden.

Note 18.3-1:

Der henvises til afsnit 17.2.1 med hensyn til brug af permanente jordankre under spor i drift.

Ved dimensionering af ueftergivelige jordkonstruktioner i brudgrænsetilstanden skal de regningsmæssige værdier af hviletryk og eventuelle komprimeringstryk i toppen benyttes.

Ved undersøgelse af såvel stive som fleksible jordkonstruktioners geotekniske stabilitet i brudgrænsetilstanden, skal den regningsmæssige brudtilstand i jorden lægges til grund.

Hvis spunsvægge skal overføre midlertidige eller permanente lodrette laster fra broer til jorden, gælder følgende krav, der skal dokumenteres:

- Den karakteristiske aksiale brudbæreevne skal bestemmes på baggrund af forsøg på enkeltstående prøvejern, der nedbringes på samme måde som den endelige spunsvæg.
- Forsøgene skal gennemføres i henhold til [2.1] DS/EN 1997-1, kapitel 7.5 "Pælebelastningsforsøg".
- Når forsøgsresultaterne fra prøvejern anvendes på produktionsjern, skal der korrigeres for eksempelvis forskel i spændingsniveauer, forskel i afgravningsniveau i forbindelse

med udførelsesfasen samt, at en del af væghøjden på produktionsjern muligvis udnyttes til at optage jordtryk.

- Spidsmodstanden af produktionsjern skal sættes til nul.

For en støtte- eller spunsvæg, herunder væg i rammebro, gælder følgende for brudgrænsetilstanden:

- Jordtryk fra aksellast skal koncentreres på væggen, svarende til en trykspredning 1:1 når væg og spor er parallelle.
- Jordtryk fra aksellast skal koncentreres på væggen, svarende til en trykspredning på 1 vandret og 2 lodret (1:2) når væg og spor står vinkelret på hinanden.

Når orienteringen mellem spor og væg ikke kan henføres til enten "væg og spor er parallelle" eller "væg og spor står vinkelret på hinanden", skal jordtrykket fra aksellast for brudgrænsetilstanden koncentreres på væggen svarende til en trykspredning, der er fundet ved lineær interpolation mellem de to tilfælde.

Københavnervægge skal projekteres og udføres som forankrede støttevægge, når de anvendes som primære jordkonstruktioner. Der skal monteres stræk på disse støttevægge af hensyn til robusthed.

18.4 BN1 Projekterings- og udførelsesmæssige hensyn

I forbindelse med dokumentation af robusthed af forankrede spunsvægge, der tjener som en primær jordkonstruktion, skal der som minimum betragtes et lasttilfælde med bortfald af et anker. Der skal anvendes partialkoefficienter på 1,00 på lasten og på jordens styrke. Det betragtede lasttilfælde skal svare til lasttilfældet fra ULS/ALS med den højeste udnyttelsesgrad af ankerkapaciteten.

Note 18.4-1:

Når den bortfaldne ankerkraft omfordeles, kan der være forskel på om fordelingen kan ske til begge sider i forhold til det bortfaldne anker, eller om fordelingen kun kan ske til den ene side.

18.5 BN1 Bestemmelse af jordtryk

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

18.6 BN1 Vandtryk

18.6.1 Anvendelses- og brudgrænsetilstande

Fastlæggelsen af vandtrykket bag en jordtrykspåvirket konstruktion skal gennemføres med udgangspunkt i [2.1] DS/EN 1997-1, og under hensyntagen til følgende forhold:

- Differensvandtrykkets størrelse skal fastlægges på baggrund af vandspejlet ved grænsebrudlinjen.
- Effekten af strømmende vand og artesiske vandtryk skal vurderes og medtages.
- Kraftige regnskyl og smeltevand kan lede til pludselige ændringer af vandspejlets beliggenhed, og pejlinger af grundvandsstanden i geotekniske boreriger indeholder typisk ikke effekten af sådanne hændelser.

Hvis differensvandtrykket på en støttekonstruktion reduceres ved hjælp af drænforanstaltninger, skal disse drænforanstaltninger umiddelbart kunne vedligeholdes gennem konstruktionens levetid. Det skal dokumenteres hvorledes drænforanstaltningerne vedligeholdes og hvorledes behovet for vedligeholdelse identificeres, når konstruktionen er i drift.

Note 18.6.1-1:

Ved drænforanstaltninger forstås enten aktive dræn eller drænende materialer.

18.6.2 Ulykkeslasttilfælde

For ulykkeslasttilfældet skal der antages følgende om vandspejlets placering:

- Støttekonstruktionens bagside: Toppen af støttekonstruktion.
- Støttekonstruktionens forside: Jordoverfladen.

I ulykkeslasttilfældet kan vandspejlet på bagsiden af væggen sænkes til et niveau lavere end toppen af støttekonstruktionen, når følgende betingelser er overholdt:

- Den horisontale udstrækning af støttevæggen skal være mindre end fire gange højdeforskellen mellem terræn på for- og bagsiden af væggen.
- Drænbetingelserne for den aktuelle støttekonstruktion skal være fastlagt.
- Vandspejlets placering skal dokumenteres, og skal være baseret på beregning.

18.7 BN1 Projektering af brudgrænsetilstand

De geotekniske analyser skal indeholde brudformer, hvor jordvoluminerne på hver sin side af væggen kan have forskellige rotationscentre.

Analyserne for brudgrænsetilstanden for armerede jordkonstruktioner skal gennemføres i henhold til [2.1] DS/EN 1997-1, afsnit 2.4.7.3.4.4, "Dimensioneringsmetode 3".

Note 18.7-1:

Hvis støttevægge udsættes for gentagne belastninger skal udmattelse vurderes i henhold til [1.4] BN1-59.

18.8 BN1 Projektering af anvendelsesgrænsetilstand

Anvendelsesgrænsetilstanden skal dokumenteres inklusive midlertidige tilstande under udførelse.

Sætningsvurderinger skal basere sig på, at den sætningsgivende last stammer fra egenvægten af jordkonstruktionen samt fra gentagne belastninger fra passerende tog.

18.9 BN2 Støttekonstruktioner

Permanente spunsvægge skal gøres vandtætte fra toppen af væggen og ned til 0,5 m under det permanente udgravningsniveau på forsiden af væggen.

Samling mellem væg og anker skal ligeledes være vandtæt.

19. BN1 HYDRAULISK BRUD

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

20. BANESKRÅNING

20.1 BN1 Generelt

Reglerne i afsnit 20 skal anvendes for baneskråninger, hvor last fra tog virker stabiliserende på udviklingen af et eventuelt brud.

20.2 BN1 Grænsetilstande

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

20.3 BN1 Laster og projekteringstilfælde

Laster og projekteringstilfælde skal fastlægges i henhold til BN1-krav i [1.4] BN1-59.

Note 20.3-1:
I BN1-59-4 findes normative referencer til andet end toglaste.

20.4 BN1 Projekterings- og udførelsesmæssige hensyn

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

20.5 BN1 Projektering af brudgrænsetilstand

20.5.1 Nyanlæg

En baneskråning er en primær jordkonstruktion, hvis den i en brudtilstand kan flytte jord ind i fritrumsprofilen. Sådanne baneskråninger skal projekteres svarende til høj konsekvensklasse, CC3.

Note 20.5.1-1:
Hvorvidt der skubbes jord ind i fritrumsprofilen kan vurderes ved blandt andet at betragte jordvolumen i selve brudfiguren og sammenligne med pladsen uden for fritrumsprofilen, hvor denne jord skal fordeles.

Vandspejlet skal i anvendelses- og brudgrænsetilstanden placeres i henhold til [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA, og under hensyntagen til følgende forhold:

- Differensvandtrykkets størrelse skal fastlægges på baggrund af vandspejlet ved grænsebrudlinjen.
- Effekten af strømmende vand og artesiske vandtryk skal vurderes og medtages.

- Kraftige regnskyl og smeltevand kan lede til pludselige ændringer af vandspejlets beliggenhed, og pejlinger af grundvandsstanden i geotekniske boreriger indeholder typisk ikke effekten af sådanne hændelser.

Hvis vandspejlets placering sænkes ved hjælp af drænforanstaltninger, skal disse drænforanstaltninger umiddelbart kunne vedligeholdes gennem konstruktionens levetid. Den geotekniske projekteringsrapport skal dokumentere hvorledes drænforanstaltningerne vedligeholdes og hvorledes behovet for vedligeholdelse identificeres, når konstruktionen er i drift.

Note 20.5.1-2:

Pejling af grundvandets beliggenhed opfattes som punktmålinger. Sæsonvariationer er kun indeholdt i det tidsrum, der dækkes af pejlingernes placering i tid.

I ulykkeslasttilfældet skal baneskråninger af ler/silt undersøges i korttidstilstanden for et vandspejl placeret i overside af ler/silt.

20.5.2 Eksisterende baneskråninger

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

Note 20.5.2-1:

Hvis bæreevne/stabilitet ikke er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, BN1, Eksisterende Anlæg, henvises til afsnit 10.4.1 i denne banenorm.

Note 20.5.2-2:

Der henvises til BN2-krav i afsnit 20.8 og 20.9 vedrørende eksisterende baneskråninger.

20.6 BN1 Projektering af anvendelsesgrænsetilstand

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

Note 20.6-1:

Der henvises til [1.3] BN1-38 med hensyn til krav for udførelse af arbejder omkring spor i drift, der kan påvirke sporets beliggenhed.

20.7 BN1 Tilsyn og overvågning

Tilsyn skal følge bestemmelserne i afsnit 13.

20.8 BN2 Sikring af baneskråninger

Reglerne i dette afsnit skal anvendes for nye baneskråninger og eksisterende baneskråninger, hvor bevoksningen er fjernet. Disse baneskråninger skal tilsås, tilplantes eller beskyttes på anden vis for at sikre mod erosion.

Note 20.8-1:

Udlægning af muld på nye baneskråninger kræver særlige overvejelser for at sikre, at muldlaget ikke glider ned ad skråningen. Det kan for eksempel overvejes at udføre et trappeprofil i overgang mellem banedæmning og muldbeklædning, men hvor trappeprofillet ikke reducerer jordkonstruktionens sikkerhed imod brud.

Note 20.8-2:

Der henvises til supplerende BN2-krav om beplantningszoner i afsnit 14.8.

Ved etablering af ny bane skal der etableres grøfte- og hegnsbanketter i hver baneside henhold til [1.2] BN1-11. Bredden af disse banketter skal være på mindst 0,5 m med et fald på 40 ‰ mod grøften/afvandingssystemet. Hegnsbanketter skal placeres umiddelbart op til baneskel, hvorimod grøftebanketter skal placeres umiddelbart nedenfor baneskråninger.

Tilstrømmende overfladevand må ikke kunne medføre erosion/opblødning af baneskråninger eller råjordsplanum.

20.9 BN2 baneskråninger (sekundære jordkonstruktioner)

Baneskråninger i form af sekundære jordkonstruktioner skal projekteres i henhold til middel konsekvensklasse, CC2.

Vandspejlet skal i anvendelses- og brudgrænsetilstanden placeres i henhold til kravene i afsnit 20.5.1.

Ved sideflytning af en eksisterende baneskråning, hvor bæreevnen/stabiliteten anses at være i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, Eksisterende anlæg, skal følgende regler dokumenteres:

- Efter sideflytning af skråningen skal stejlegheden være enten uændret eller reduceret, set i forhold til situationen før sideflytning.
- Den maksimalt tilladelige, vandrette flytning af fodpunktet er 1,0 m.
- Skråningens drænbetingelser skal forblive uændrede eller forbedres.
- Destabiliserende kræfter på den eksisterende skråning og på den sideflyttede skråning skal kun udgøres af egenvægt af jord og forekomst af grundvand.
- Hvis ét eller flere af disse krav ikke overholdes, skal skråningen omprojekteres. Hvis skråningen får karakter af en primær jordkonstruktion skal den projekteres i henhold til afsnit 20.5.1.

21. BN1 BANEDÆMNINGER

21.1 Generelt

Reglerne i afsnit 21 gælder for fundering af sporkassen på banedæmninger. Bestemmelserne vedrører tillige banestrækninger, der enten er, eller vil blive, placeret på naturlige skrånninger.

21.2 Grænsetilstande

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

21.3 Laster og projekteringstilfælde

Laster og projekteringstilfælde skal fastlægges i henhold til BN1-krav i [1.4] BN1-59.

21.4 Projekterings- og udførelsesmæssige hensyn

Ved valg af funderingsniveau for en banedæmning skal følgende forhold tages i betragtning:

- Imødegåelse af ugunstige virkninger på og fra tilgrænsende konstruktioner og installationer.
- Forekomster af ringe underbund, herunder vurdering af eventuel tidligere forbelastning/fortrængning.
- Vurdering af behov for anvendelse af stabiliserende metoder.

Note 21.4-1:

Almindeligt anvendte stabiliserende metoder er kontrabanketter, kanaludskiftning, pæledæk og forbelastning.

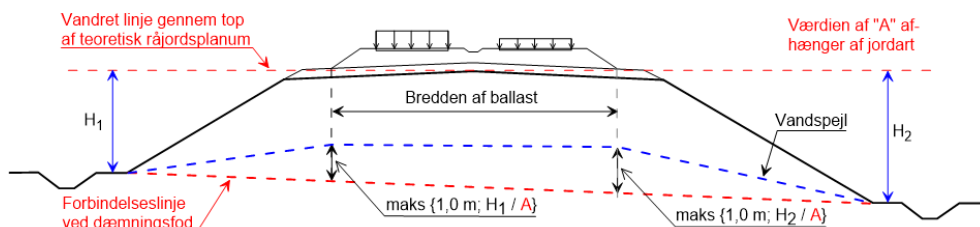
21.5 Projektering af brudgrænsetilstand

Sweller skal modelleres svarende til en repræsentativ stivhed og forskydningskapacitet.

Placeringen af vandspejlet i anvendelses- og brudgrænsetilstanden skal fastsættes således:

- For banedæmninger af sand/grus med et maksimalt finstofindhold på 10 % ($D_{10} \geq 0,063$ mm), og dæmningshøjde større end 2,0 m, skal parameteren A i Figur 21.5-1 sættes til 5,0.

- For banedæmninger på maksimalt 2,0 m højde sættes vandspejlet til den halve dæmningshøjde, dog skal vandspejlet ikke placeres lavere end omkringliggende terræn. Banedæmninger af ler/silt skal i tillæg undersøges for et udrænet tilfælde med vandspejl i overside af banens underbygning.
- For banedæmninger af ler/silt, og dæmningshøjde større end 2,0 m, skal parameteren A i Figur 21.5-1 sættes til 4,0 for det drænede tilfælde, mens vandspejlet skal placeres langs overside af banens underbygning for det udrænede tilfælde.
- Udenfor banedæmningen skal vandspejlet placeres i terræn eller grøftebund, hvad end der er mest kritisk.



Figur 21.5-1 Placering af dimensionerende vandspejl inde i en banedæmning.

For følgende tilfælde skal placeringen af vandspejlet i anvendelses- og brudgrænsetilstanden bestemmes ved beregning og dokumenteres:

- Banedæmninger af sand/grus, hvor finstofindholdet overstiger 10 % ($0,063 \text{ mm} < D_{10}$): Beregningerne skal tillige dokumentere vandspejlets placering i ulykkeslasttilfældet.
- Banedæmninger der er placeret i områder med artesisk vandtryk: Beregningerne skal tillige dokumentere vandspejlets placering i ulykkeslasttilfældet.
- Banedæmninger der indeholder kalkstabiliseret ler. Der skal dog som minimum anvendes et vandspejl svarende til en lerdæmning.

For banedæmninger af ler skal ulykkeslasttilfældet kun undersøges i det udrænede tilfælde.

Note 21.5-1:
 Der henvises til BN2-krav i afsnit 14.6 vedrørende kalkstabiliseret ler.

21.5.1 Nyanlæg

For nyanlæg skal der dimensioneres for laster i henhold til BN1-krav i [1.4] BN1-59 svarende til nyanlæg og partialkoefficienter svarende til høj konsekvensklasse, CC3.

21.5.2 Sporflytning

Hvis man indenfor gyldighedsområdet af BN1-188 arbejder med en bane, hvor bæreevnen/stabiliteten er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, Eksisterende anlæg, skal kravene i afsnit 21.5.2.1 dokumenteres ved sideflytning, mens kravene i afsnit 21.5.2.2 skal dokumenteres ved højdeflytning.

Grænserne for højde- og sideflytning i afsnittene 15.5.2.1 og 21.5.2.2 skal opfattes som de akkumulerede side- og højdeflytninger gennem de sidste 10 år.

Note 21.5.2-1:

Hvis bæreevne/stabilitet ikke er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, BN1, Eksisterende Anlæg, skal kravene i afsnit 10.4.1 opfyldes.

Note 21.5.2-2:

Der henvises til BN2-krav i BN1-6 vedrørende sporflytning og tværprofil.

21.5.2.1 Sideflytning

Ved sideflytning af spor gælder følgende krav:

- Sideflytning $\leq 0,10$ m:
 - Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
- $0,10$ m < Sideflytning $\leq 0,20$ m:
 - Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
 - Sikkerheden mod brud må ikke reduceres.
- $0,20$ m < Sideflytning $\leq 1,50$ m:
 - Jordkonstruktionen henføres til høj konsekvensklasse, CC3.
- $1,50$ m < Sideflytning:
 - Banen projekteres i henhold til afsnit 21.5.1 Nyanlæg.

Note 21.5.2.1-1:

Der henvises til BN2-krav i afsnit 14.7 vedrørende stivhed af banens underbygning for sideflytning af spor på mere end 0,20 m.

Kravene for en sideflytning på mere end 0,20 m kan lempes, hvis banen ligger på toppen af en bandedæmning, og sporet sideflyttes væk fra nærmeste skråning. De lempede krav, der skal dokumenteres, er:

- Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
- Sikkerheden mod brud må ikke reduceres.

Note 21.5.2.1-2:

Jorden under råjordsplanum for en sideflyttet bane kan have lavere styrke- og stivhedsparametre end jorden under råjordsplanum i det område, som bane sideflyttes fra.

21.5.2.2 Højdeflytning

Hvis teoretisk råjordsplanum hæves, gælder følgende krav:

- Hævning $\leq 0,10$ m:
 - Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
- $0,10$ m < Hævning $\leq 0,50$ m:
 - Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
 - Sikkerheden imod brud må ikke reduceres.
- $0,50$ m < Hævning:
 - Banen projekteres i henhold til afsnit 21.5.1 Nyanlæg.

Hvis teoretisk råjordsplanum sænkes, gælder følgende krav:

- Sænkning $\leq 0,10$ m:
 - Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
- $0,10$ m < Sænkning $\leq \frac{1}{2}$ dæmningshøjde:
 - Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
 - Sikkerheden mod brud må ikke reduceres.
- Sænkning $> \frac{1}{2}$ dæmningshøjde:
 - Banen projekteres i henhold til afsnit 21.5.1 Nyanlæg, hvis banen fortsat ligger på banedæmning.

Note 21.5.2.2-1:

Kravene til højdeflytning er formuleret i forhold til flytning af teoretisk råjordsplanum og ikke i forhold til flytning af skinneoverkant (SO-plan).

Note 21.5.2.2-2:

Ved sænkning af teoretisk råjordsplanum henvises til krav i [1.2] BN1-11 med hensyn til afvanding.

Sænkes teoretisk råjordsplanum på en banedæmning således at banen overgår til en bane i terræn eller en bane i afgravning, skal banen projekteres i henhold til afsnit 15.5.1 Nyanlæg, og øvrige krav fra afsnit 21.5.2.2 bortfalder.

21.5.3 Opgradering, større aksellast

For en banedæmning, hvor bæreevnen/stabilitet er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, Eksisterende anlæg, skal der ved opgradering af aksellaster fra 225 kN til maksimalt 250 kN dokumenteres, at banedæmningen kan henføres til middel konsekvensklasse, CC2 med laster svarende til bæreevneklasse E4 for eksisterende jordkonstruktioner i [1.4] BN1-59.

For en banedæmning, hvor bæreevnen/stabilitet er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, Eksisterende anlæg, skal der ved opgradering af aksellaster til maksimalt 225 kN svarende til bæreevneklasse D4, dokumenteres følgende krav:

- Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10.3, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
- Sikkerheden mod brud må ikke reduceres.

Note 21.5.3-1:

Hvis bæreevne/stabilitet ikke er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, BN1, Eksisterende Anlæg, henvises til afsnit 10.4.1.

Note 21.5.3-2:

Visse banestrækninger har tidligere været anvendt til højere aksellaster eller højere hastigheder, end hvad strækningerne anvendes til i dag. Ved opgradering af eksisterende bane må historiske data anvendes til vurdering af, om sikkerheden mod brud reduceres som følge af en opgradering.

21.5.4 Opgradering, større hastighed

Ved opgradering til hastigheder på mere end 200 km/t og maksimalt 250 km/t skal det dokumenteres, at banedæmningen kan henføres til høj konsekvensklasse, CC3 med laster svarende til BN1-krav for nyanlæg i [1.4] BN1-59.

For en banedæmning, hvor bæreevnen/stabilitet er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, Eksisterende anlæg, skal der ved opgradering til hastigheder til og med 200 km/t dokumenteres følgende krav:

- Kravene fra [1.5] BN1-185, Afsnit 10, Geometriske minimumskrav, skal overholdes.
- Sikkerheden mod brud må ikke reduceres.

Note 21.5.4-1:

Hvis bæreevne/stabilitet ikke er i orden i henhold til [1.5] BN1-185, afsnit 10, BN1, Eksisterende Anlæg, henvises til afsnit 10.4.1.

Note 21.5.4-2:

Der henvises til BN1-krav om kritisk hastighed i afsnit 10.1.

Note 21.5.4-3:

I henhold til [1.4] BN1-59 tillades, at centrifugalkraften beregnes særskilt for hurtige og for langsomme tog.

Note 21.5.4-4:

Visse banestrækninger har tidligere været anvendt til højere aksellaster eller højere hastigheder, end hvad strækningerne anvendes til i dag. Ved opgradering af eksisterende bane må historiske data anvendes til vurdering af, om sikkerheden mod brud reduceres som følge af en opgradering.

21.5.5 Stabilisering

Sikkerheden mod brud skal efter stabilisering kunne henføres til høj konsekvensklasse CC3, med laster svarende til BN1-krav for nyanlæg fra [1.4] BN1-59 for den stabiliserede del. Beregningerne skal dokumenteres.

21.6 Projektering af anvendelsesgrænsetilstand

Der er ikke supplerende krav i forhold til anvisningerne i [2.1] DS/EN 1997-1 inklusive DK NA.

Note 21.6-1:

Der henvises til BN2-krav om sætninger af banens underbygning i afsnit 22.

21.7 Tilsyn og overvågning

Tilsyn skal følge bestemmelserne i afsnit 13.

22. BN2 SÆTNINGSKRAV TIL BANENS UNDERBYGNING

Krav til sætninger af råjordsplanum er givet i form af totale sætninger, differenssætninger og nedsynkning af skinne som følge af akselpassager. Sætningsvurderingen skal basere sig på, at en sætningsgivende last fra egenvægt af jordkonstruktion samt fra toglast i overensstemmelse med lastkombinationerne fra [1.4] BN1-59.

Note 22-1:

Er anlægsudgifterne ved overholdelse af sætningskravene store, kan der på baggrund af Life Cycle Cost-betragtninger muligvis opnås dispensation fra sætningskravene størrelse, hvis der kan dokumenteres tilstrækkelig anvendelighed på anden vis, under forudsætning af, at jernbanesikkerheden overholdes.

22.1 Totale sætninger

Den maksimalt tilladelige totale sætning af råjordsplanum er på 100 mm, opgjort over en 10-årig driftsperiode. Sætningskravet er gældende for:

- Nyanlæg
- Stabilisering
- Spor, hvor man i forbindelse med opgraderingsprojekter eller ved udskiftning af broer har gravet i banens underbygning.

22.2 Differenssætninger i banens længderetning

De maksimalt tilladelige differenssætninger langs råjordsplanum skal overholde kravene i Tabel 22.2-1. Differenssætningerne henfører til forskelle i sætning af råjordsplanum langs en linje på maksimalt 6 m længde. Kravene er opdelt dels i forhold til hastighed og dels i forhold til periode, hvor "år 0" repræsenterer ibrugtagning.

Hastighed, V [km/t]	Differenssætninger [mm]	
	Periode: 0 til 1 år	Periode: 1 til 6 år
$200 < V \leq 250$	5	5
$160 < V \leq 200$	6	6
$120 < V \leq 160$	6	6
$80 < V \leq 120$	7	7
$40 < V \leq 80$	8	8
$V \leq 40$	11	11

Tabel 22.2-1 Maksimalt tilladelige differenssætninger af råjordsplanum, målt langs en linje på op til 6 m længde.

Maksimalt tilladelige differenssætninger langs en linje på mellem 6 og 20 m længde bestemmes som værdierne fra Tabel 22.2-1 multipliceret med 1,5.

Kravene i Tabel 22.2-1 er gældende for:

- Nyanlæg
- Stabilisering
- Spor, hvor man i forbindelse med opgraderingsprojekter eller ved udskiftning af broer har gravet i banens underbygning.

22.3 Sætning af skinne som følge af akselpassage

Når der forefindes ringe underbund i banens underbygning, eller når banens underbygning holdes på plads af en støttekonstruktion, skal det dokumenteres, at den lodrette sætning af banens underbygning ved akselpassage er på maksimalt 2 mm. Kravet om maksimalt 2 mm sætning af banens underbygning gælder for:

- Nyanlæg
- Stabilisering