



Udgivet: 01.02.2022
Godkendt: 06.01.2022

Antal sider i alt: 12

Overordnet ansvar: Adm. direktør
Ansvar for indhold: Sikkerhedschef
Ansvar for fremstilling: Rune Kessel

Underbygning: Jordarter

Letbanenorm LBN1-8-4

Indholdsfortegnelse

1	<u>INDLEDNING</u>	3
2	<u>IKRAFTTRÆDEN</u>	3
3	<u>OVERGANGSBESTEMMELSER</u>	3
4	<u>REFERENCER</u>	3
5	<u>DEFINITIONER</u>	4
6	<u>DESKRIPTORER</u>	5
7	<u>ANVENDELSESOMRÅDE</u>	5
8	<u>DISPENSATION</u>	5
9	<u>HISTORIK</u>	5
10	<u>JORDARTERS KVALITETSKLASSER</u>	6
10.1	K0 UEGNET JORD	6
10.2	K1 DÅRLIG JORD	6
10.3	K2 MIDDEL JORD.....	7
10.4	K3 GOD JORD	7
11	<u>RÅJORDSPLANUMS BÆREEVNEKLASSER</u>	8
12	<u>KRAV TIL JORDARTER OG RÅJORDSPLANUM</u>	9
12.1	NYANLÆG.....	9
12.2	EKSISTERENDE ANLÆG	10
12.3	STØRRE OMBYGNINGER.....	10
12.4	OPGRADERINGER AF EKSISTERENDE ANLÆG	10
13	<u>BILAG</u>	12
13.1	BILAG 1 MORÆNELER SOM DÆMNINGSFYLD (INFORMATIVT)	12

1 INDLEDNING

Denne Letbanenorm indeholder de erfaringer, som Banedanmark har med jordarters anvendelighed som underlag for ballasteret spor. Både jordarterne og råjordsplanum er inddelt i klasser som angivet i [2], men tilpasset dansk praksis. Det er normens mål, at jordbundsforhold under spor skal kunne vurderes på en ensartet måde.

Letbanenormen er udarbejdet i henhold til [1], hvor normniveauerne LBN1, LBN2 og LBN3 er defineret.

Udgivet af:

Aarhus Letbane
P. Hiort-Lorenzens Vej 71-95
8000 Aarhus C

2 IKRAFTTRÆDEN

Denne Letbanenorm træder i kraft ved udgivelsen.
Denne Letbanenorm ophæver LBN1-8-3

3 OVERGANGSBESTEMMELSER

Der er ingen overgangsbestemmelser i denne tekniske sikkerhedsregel.

4 REFERENCER

Nogle steder henviser Letbanenormen til andre bestemmelser. Disse henvisninger er angivet ved 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.

Med mindre andet er nævnt gælder, at referencer er normative på LBN1- eller LBN2-niveau afhængig af den sammenhæng, de optræder i.

Nogle af denne Letbanenorms krav kan være en skærpelse af regler angivet i referencelisten. I så fald er reglerne i referencelisten ikke gældende med hensyn til netop disse krav.

- [1] Letbanenorm LBN2-1 "Struktur, udseende og udvikling af Letbanenormer", Aarhus Letbane
- [2] UIC Code 719 "Earthworks and track-bed layers for railway lines, 2. edition, 1.1.1994.", International Union of Railways (Informativ reference).
- [3] Bulletin 1: "Vejledning i Ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse, juli 1988", Dansk Geoteknisk Forening.
- [4] Vejregler: "Almindelig arbejdsbeskrivelse (AAB) for jordarbejder - Udbud, 1.4.2016.", Vejdirektoratet.

- [5] Letbanenorm LBN1-59 "Belastnings- og beregningsforskrift for sporbærende broer og jordkonstruktioner", Aarhus Letbane
- [6] TM01 "Geotekniske regler knyttet til tværprofiler for ballasteret spor", Aarhus Letbane.
- [7] DS/EN 13285:2011 "Vejmaterialer - ubundne blandinger – specifikationer, 12.3.2011", Dansk Standard
- [8] Letbanenorm LBN2-5 "Ballast- og jordprøvetagning i sporkassen", Aarhus Letbane.
- [9] Letbanenorm LBN1-11 "Afvanding af sporarealer", Aarhus Letbane.
- [10] Letbanenorm LBN1-402 "Traceringsregler", Aarhus Letbane.

5 DEFINITIONER

I denne Letbanenorm gælder følgende definitioner:

Bundmodul	Elasticitetsmodul fundet ved pladebelastningsforsøg eller tilsvarende.
Fri bane	Benyttes som sporbenævnelse mellem stationer. Den del af banestrækningen, der ligger uden for stationsgrænsen. Begrebet fri bane finder anvendelse for spor i eget trace. Alle spor i særligt og delt trace skal i forbindelse med læsning af denne norm opfattes som fri bane.
Jordarter	Defineres som angivet i [3].
Myndighed	Den til enhver tid gældende myndighed på jernbane- og letbane-området i Danmark.
Råjordsplanum	Grænsen mellem underballast og den underliggende råjord.
Sidespor	Benyttes som sporbenævnelse på stationer. Spor som ikke er togvejsspor kaldes sidespor.
Større ombygning	Ballastrensning af skærvelag, fornyelse af underballastlag, sveleudveksling med udstrækning større end 100 m, fornyelse af hele sporkonstruktionen eller sporsænkning.
Togvejsspor	Benyttes som sporbenævnelse på stationer. Togvejsspor er spor hvortil eller hvorfra, der kan stilles signal.
Type 1 infrastruktur	Der findes to forskellige typer af infrastruktur på Aarhus Letbanes netværk. De to forskellige typer benævnes Type 1 infrastruktur og Type 2 infrastruktur. De to typer infrastruktur stiller forskellige krav på grænsefladen mod det rullende materiel. Det fremgår af [10], hvilke strækninger, der er Type 1 infrastruktur.
Type 2 infrastruktur	Der findes to forskellige typer af infrastruktur på Aarhus Letbanes netværk. De to forskellige typer benævnes Type 1 infrastruktur og Type 2 infrastruktur. De to typer infrastruktur stiller forskellige krav på grænsefladen mod det rullende materiel. Det fremgår af [10], hvilke strækninger, der er Type 2 infrastruktur.
Uensformighedstal	U, kornkurvens uensformighed bestemt ved sigtning (d60/d10).

Underbygning	Jordlegeme, hvis øverste begrænsning er råjordsplanum.
Vandindhold (w)	Vandvægt/kornvægt angivet i %
Udrænet forskydningsstyrke	cu, styrke af ler og silt, som almindeligvis bestemmes ved måling af vingestykken ved vingeforsøg. For sprækket ler og organiskholdige aflejringer kan vingestykken ikke bruges direkte.

6 DESKRIPTORER

ballastrensning, blødbund, bæreevneklasse, eksisterende anlæg, jordarter, kvalitetsklasse, nyanlæg, opgradering, råjordsplanum, sporombygning, større ombygninger, underbygning, uroligt spor

7 ANVENDELSESOMRÅDE

Letbanenormen gælder for alle i drift værende spor under Aarhus Letbanes ansvar som infrastrukturforvalter, hvor der tillades hastigheder $V \leq 100$ km/h og aksellaster op til og med 225 kN.

8 DISPENSATION

Dispensationer fra gældende LBN1-krav kan kun gives af den normansvarlige chef i Aarhus Letbane efter godkendelse af myndigheden.

Dispensationer fra gældende LBN2-krav kan kun gives af den normansvarlige chef i Aarhus Letbane.

Endvidere fremgår proces for dispensation fra tekniske regler af Aarhus Letbanes ledelsessystem, hvor til der henvises.

Dispensionsansøgningen skal på baggrund af en geoteknisk undersøgelse bekræfte, at bæreevne og stabilitet er opfyldt ifølge [5], og at sætningerne er acceptable, dvs. at grænsen for normal vedligeholdelse på 6 mm pr. år ikke overskrides væsentligt. En analyse af anlægs- og levetidsomkostninger skal ligge til grund for, hvilken løsning der søges om tilladelse til. Tilladelse kan gives som permanent.

9 HISTORIK

I forhold til version LBN1-8-3 er der sket tilretning i afsnit 3. Ændringen omfatter, at begrænsningen af anvendelsen af den tekniske sikkerhedsregel til kun at dække drift- og vedligeholdelsesaktiviteter er fjernet.

10 JORDARTERS KVALITETSKLASSER

Jordarterne i og under råjordsplanum har en afgørende betydning for sporets bæreevne og stabilitet. Jordarterne er derfor inddelt i klasser i forhold til, hvor egnede de er som underbygning for et spor. Jorden inddeles i 4 kvalitetsklasser:

- K0 uegnet jord
- K1 dårlig jord
- K2 middel jord
- K3 god jord

Hvor der i afsnit 10.2 og 10.3 angives, at de hydrologiske og hydrogeologiske betingelser er gode, menes der, at den øverste del af jorden er over det niveau, der kan blive skadeligt påvirket af det højeste naturlige grundvandsspejl (dvs. der regnes ikke med afvanding), samtidig med at regnvand ledes effektivt væk. Der må heller ikke være nogen skadelig vandstrømning på langs, tværs eller vertikalt i sandet.

Ud over de nedenfor nævnte geotekniske/geologiske krav til jordarter kræver miljølovgivningen, at der ansøges om tilladelse hos miljømyndighederne til anvendelse af forurenede jord som fyld.

10.1 K0 uegnet jord

Følgende jordarter klassificeres som uegnet:

- Tørv og tørvedynd.
- Gytje.
- Ler med udrænet forskydningsstyrke $c_u < 40$ kPa.
- Ler, fedt og meget fedt liggende mindre end 1,2 m under ballastoverside for eksisterende anlæg og mindre end 1,5 m under ballastoverside for nyanlæg.
- Muld, humusrig.
- Ler- og sandmuld, som ikke er i K1.
- Silt (herunder morænesilt) liggende mindre end 1,2 m under ballastoverside.
- Ler, silt og sand, som er stærkt organiskholdigt.
- Fyld af jordarter fra klasse K0.

10.2 K1 dårlig jord

Følgende jordarter klassificeres som dårlig jord:

- Moræneler med udrænet forskydningsstyrke $40 \leq c_u \leq 80$ kPa.
- Ler, som ikke tilhører klasse K0 eller K2.

- Silt, som ikke er i klasse K0.
- Lermuld og sandmuld med vandindhold $w < 25 \%$, en samlet lagtykkelse på højst 0,5 m liggende dybere end 1 m under råjordsplanum.
- Sand, som er svagt organiskholdigt eller organiskholdigt.
- Sand med uensformghedstal $U \leq 1,6$.
- Fyld, der ikke tilhører klasse K0, K2 eller K3.
- Sand, stærkt siltet og/eller leret (bortset fra morænesand og -grus) med mere end 15 % silt og/eller ler.
Sand, som indeholder mellem 15 % og 40 % silt og/eller ler, kan dog komme i klasse K2, hvis følgende er opfyldt:
 - sandet er fri for organisk indhold
 - de hydrologiske og hydrogeologiske betingelser er gode
 - sandet ligger mere end 1,2 m under ballastoversiden.

10.3 K2 middel jord

Følgende jordarter klassificeres som middel jord:

- Moræneler med udrænet forskydningsstyrke $c_u > 80$ kPa.
- Morænesand og -grus.
- Sand og grus, som indeholder mindre end 15 % silt og/eller ler og med uensformighedstal $U > 1,6$. Sand og grus, der indeholder mindre end 15 % silt og/eller ler med $U > 1,6$, kan dog komme i klasse K3, hvis de hydrologiske og hydrogeologiske betingelser er gode.
- Fyld af jordarter fra klasse K2 og som opfylder komprimeringskravene i [4].

10.4 K3 god jord

Følgende jordarter klassificeres som god jord:

- Morænesand og -grus, som opfylder kornkurvekravene for stabilt grus i [7].
- Fyld af jordarter fra klasse K3 og som opfylder komprimeringskravene i [4].

11 RÅJORDSPANUMS BÆREEVNEKLASSER

Også råjordsplanums bæreevne er inddelt i klasser. Råjordsplanums bæreevne er dels afhængige af de underliggende jordarters kvalitetsklasse, dels af de forbedringer man udfører i råjordsplanum. Råjordsplanums bæreevne inddeles i 3 klasser:

- P1 dårligt råjordsplanum
- P2 middel råjordsplanum
- P3 råjordsplanum for al type 1 infrastruktur og slab track i type 2 infrastruktur

For P3 gælder krav minimum svarende til P2 med det tillægskrav, at der skal være et bundmodul på minimum 50 MPa

Råjordsplanums bæreevne kan forbedres og derved rykke op i en bedre klasse, hvis jorden lige under råjordsplanum udskiftes med jord af en bedre kvalitet. Dette er beskrevet i figur 11-1.

Kvalitetsklasse af jord i råjordsplanum	Bæreevne af råjordsplanum	Kvalitet af jord, der udskiftes med	Mindste tykkelse af udskiftning
K1	P1	-	-
	P2	K2	0,5 m
	P2	K3	0,20 m ¹⁾
K2	P2	-	-

1: Hvis banen skal trafikeres med en trafikbelastning $T < 20$ mio. bruttoton togvægt årligt, tillades udskiftningstykkelsen nedsat til 0,15 m.

Figur 11-1 Forbedring af råjordsplanums bæreevne.

12 KRAV TIL JORDARTER OG RÅJORDSPANUM

Nedenfor er angivet krav til jordarter og råjordsplanum. Hvis det er teknisk umuligt eller økonomisk urimeligt at overholde kravene, kan der søges om dispensation i henhold til afsnit 8.

12.1 Nyanlæg

Ved nyanlæg skal kravene i afsnit 12.1.1 og 12.1.2 være opfyldt.

12.1.1 Jordarter

Der må ikke være jordarter af kvalitetsklasse K0 i eller under råjordsplanum og dæmninger. Der skal derfor udføres en geoteknisk undersøgelse, der fastlægger jordbundsforholdene til senglaciale aflejringer eller ældre i henhold til [5].

Jord, som skal indbygges i dæmninger, skal mindst være af kvalitetsklasse K2; dog tillades fyld af moræneler fra klasse K1 anvendt, hvis det kan komprimeres, så det opfylder komprimeringskravene i [4]. Der må ikke indbygges sten større end 100 mm.

Note 12.1.1-1

Anvendes moræneler som dæmningsfyld, er en vis udtørring ofte nødvendig for at kunne opfylde komprimeringskravene. Behovet herfor kan vurderes ved en sammenligning mellem det naturlige vandindhold og det optimale bestemt ved Standard Proctorforsøg jævnfør bilag 1. Muligheden for udtørring forudsætter, at jordarbejdet udføres under gunstige vejrforhold i sommerhalvåret.

Hvis der skal udskiftes jord under grundvandspejlet (som eventuelt kan være sænket), skal den nye fyld opfylde kravet til bundsikringsgrus som angivet i [7] med tillægskravet, at uensformighedstallet skal være $U > 2,5$.

For dæmningshøjder på mere end 5 m skal der med et dæmningsunderlag af lerarter i kvalitetsklasse K1 udføres en stabilitetsberegning, som viser, at stabiliteten er opfyldt ifølge [5].

For dæmninger og afgravningsskrånninger i fedt – eller meget fedt, sprækket ler (f.eks. plastisk ler) skal skråningsanlæg fastlægges ud fra en geoteknisk undersøgelse, idet skråningshældningerne i [6] ikke kan forudsættes at være tilstrækkelige.

12.1.2 Råjordsplanum

For type 1 infrastruktur gælder at bæreevne af færdigt råjordsplanum skal være mindst P3

For type 2 infrastruktur gælder at bæreevnen af færdigt råjordsplanum skal være mindst:

- P3 for fri bane, togvejsspor og sidespor med slab track
- P2 for fri bane og togvejsspor i ballasteret spor
- P1 for sidespor i ballasteret spor.

12.2 Eksisterende anlæg

Bæreevnen af eksisterende råjordsplanum anses med uændret hastighed og uændret akseltryk at være i orden, såfremt underbygningen har stået i mindst 10 år uden at vise tegn på stabilitetsproblemer - som sætninger, revner eller skred.

Hvis der er tegn på stabilitetsproblemer i sporet ("uroeligt spor"), som skyldes jordarterne under råjordsplanum, skal der foretages en af nedenstående 2 løsninger:

- Hvis årsagen umiddelbart kan forklares med jordarternes kvalitet lige under råjordsplanum (f.eks. ved frosthævninger), skal der foretages udskiftning, så der ikke er jordarter af kvalitet K0 i råjordsplanum.
- Der skal igangsættes sætningsmålinger og eventuelt også sidemålinger for at vurdere, om sætningerne udvikler sig sådan, at der skal foretages en stabilisering. Når sætningshastigheden væsentligt overstiger grænsen for normal vedligeholdelse på 6 mm pr. år, skal der laves en geoteknisk undersøgelse, som indeholder forslag til, hvordan stabiliteten kan forbedres, så bæreevne og stabilitet er opfyldt ifølge [5].

Note 12.2-1

Om stabilitetsproblemer i sporet skyldes jordarterne under råjordsplanum, kan ses ved at udføre et forarbejde som angivet i [8].

Hvis ballast og underballast skal udskiftes, må der ikke være jordarter K0 i og umiddelbart under råjordsplanum.

Hvis der skal udskiftes jord under råjordsplanum, skal der laves en overgangszone på langs af sporet mod den del af sporet, hvor der ikke udskiftes under råjordsplanum. Overgangszonen skal udføres i trin af maksimalt 0,25 m højde pr. m i sporets længderetning.

Hvis der skal udskiftes jord under grundvandsspejlet (som eventuelt kan være sænket), skal den nye fyld opfylde kravet til bundsikringsgrus som angivet i [7] med tillægskravet, at uensformighedstallet skal være $U > 2,5$.

Note 12.2-2

For at sikre bæreevnen af råjordsplanum er det væsentligt, at vedligeholdelsen af afvandingsystemet (ballast, grøfter og dræn) er i orden, dvs. overholder kravene i [9].

12.3 Større ombygninger

For større ombygninger gælder kravene i afsnit 12.2.

12.4 Opgraderinger af eksisterende anlæg

12.4.1 Krav til råjordsplanum ved hastighedsforøgelse

I forbindelse med en hastighedsforøgelse skal det sikres, at følgende krav er overholdt:

Hvis der i de sidste 10 år har været tegn på stabilitetsproblemer i sporet ("uroeligt spor"), som skyldes jordarterne under råjordsplanum, skal forholdene forbedres, så bæreevne og stabilitet er opfyldt ifølge [5].

Note 12.4.1-1

Om stabilitetsproblemer i sporet skyldes jordarterne under råjordsplanum, kan ses ved at udføre et forarbejde som angivet i [8].

Hvis der skal foretages en udskiftning af ballast og underballast, må der ikke være jordarter K0 i og umiddelbart under råjordsplanum.

Hvis der skal udskiftes jord under grundvandsspejlet (som eventuelt kan være sænket), skal den nye fyld opfylde kravet til bundsikringsgrus som angivet i [7] med tillægskravet, at uensformighedstallet skal være $U > 2,5$.

12.4.2 Krav til råjordsplanum ved forøgelse af aksellast

Kravene er endnu ikke fastsat.

13 BILAG

13.1 Bilag 1 Moræneler som dæmningsfyld (Informativt)

Mulighederne for indbygning af moræneler vurderes ved en sammenligning mellem det naturlige vandindhold, w , og det optimale vandindhold, w_{opt} , bestemt ved Standard Proctorforsøg, idet der f.eks. kan anvendes følgende kriterier:

$w - w_{opt} \leq 4 \%$ Leret kan indbygges under praktisk taget alle forhold, dvs. det er anvendeligt.

$4 < w - w_{opt} \leq 8 \%$ Leret kan indbygges efter nogen udtørring, dvs. det er betinget anvendeligt.

$8 < w - w_{opt}$ Leret kan kun indbygges efter en kraftig udtørring. Med danske vejrforhold må det som regel kasseres, dvs. det er uanvendeligt/betinget anvendeligt.

Morænelers anvendelighed kan også vurderes ud fra flydegrænse, w_l , og plasticitetsindeks, I_p . Sammenhørende værdier af flydegrænse, w_l , og plasticitetsindeks, I_p er vist på fig. 11 i [3]. For moræneler vil værdierne altid ligge over A-linien.

Anvendeligt moræneler vil typisk have plasticitetsindeks $I_p \leq 10 \%$ og flydegrænse $w_l \leq 25 \%$.

Betinget anvendeligt moræneler vil typisk have plasticitetsindeks $10 < I_p < 15 \%$ og en flydegrænse $20 < w_l \leq 30 \%$. Denne type moræneler falder i fig. 11 i kategorien CL.

Moræneler med plasticitetsindeks $I_p > 15 \%$ og en flydegrænse $w_l > 30 \%$ vil som regel blive karakteriseret som uanvendeligt, eventuelt betinget anvendeligt. Denne type moræneler falder i fig. 11 i kategorien CM.