

Setninger

1	HENSIKT OG OMFANG	2
2	ANVENDELSE AV SETNINGSKRAV	3
3	TILLATTE SETNINGER I DRIFTSFASEN	4
3.1	Prinsipper	4
3.2	Tillatt utvikling av differansesetninger i banens lengdeprofil	6
3.2.1	Kravspesifikasjon	6
3.2.2	Inngangsverdier og bruk av kravene	6
3.3	Tillatt variasjon av sideskjevheter langs banelegemet	7
3.3.1	Kravspesifikasjon	7
3.3.2	Inngangsverdier og bruk av kravene	7
3.4	Tillatte maksimalsetninger i enkeltprofiler	8
3.4.1	Kravspesifikasjon	8
3.4.2	Inngangsverdier og bruk av kravene	8
3.5	Akseptable avvik mellom opptredende setninger og krav	8
3.6	Illustrasjon av tillatt setningsutvikling i driftsperioden	9
3.6.1	Tillatte setninger i lengdeprofilet	9
3.6.2	Tillatte skjevsetninger	9
3.7	Krav til økning av formasjonsplanets bredde	10
3.8	Setningskrav i forhold til jernbanens mastefundamenter	10
4	KRAV TIL DEN GEOTEKNISKE PROSJEKTERINGEN	12
4.1	Geotekniske forundersøkelser og analyser	12
4.2	Setningskrav tilpasset ambisjonsnivået	13
4.3	Setningsutjevning av kritiske partier	13
4.4	Bruk av setningsreducerende tiltak	14
5	SETNINGSOPPFØLGING	15
5.1	Generelt	15
5.2	Setningsoppfølging med setningsslanger	15
5.3	Målinger	16

1 HENSIKT OG OMFANG

Jernbaneanlegg på bløt, kompressibel grunn utsettes ofte for langvarige konsolideringssetninger i undergrunnen. Setninger som utvikles langt inn i driftsfasen, vil bidra til forringelse av sporets og kontaktledningens geometriske tilstand, og gi økt behov for overvåking og vedlikehold av anlegget.

For å sikre at nye spor får akseptable setningsforhold er det funnet formålstjenlig å innføre setningskrav. Dette er nødvendig for å unngå uforutsett og uakseptabelt stort vedlikehold for sporet og kontaktledningen. Samtidig er setningskravene et virkemiddel for å hindre unødig store byggekostnader.

Dette kapitlet omhandler setningskrav for nye jernbaner under prosjektering, bygging og drift. Herunder gis også en veiledende utredning av setningsreducerende tiltak samt en beskrivelse av system for praktisk setningsoppfølging.

2 ANVENDELSE AV SETNINGSKRAV

Setningskravene gitt i dette regelverket gjelder for utbygging av nye K0-baner (dvs. baner med strekningshastighet ≥ 145 km/h). Kravene skal anvendes både ved prosjektering av nyanlegg og ved ombygginger av eksisterende banestrekninger til K0-standard.

Disse kravene skal søkes innfridd med lavest mulig byggekostnad og er forventet å gi en økonomisk gunstig utbygging av banestrekninger hvor bløt leire i grunnen representerer et betydelig problem. Det kan imidlertid være aktuelt å gjennomføre en egen økonomisk analyse av større utbyggingsprosjekters totaløkonomi for å undersøke om kravene resulterer i lavest mulig samlede kostnader til utbygging og drift. Med grunnlag i en slik analyse kan baneutbygger finne det aktuelt å innføre strengere setningskrav.

Mindre strenge setningskrav enn kravene skal ikke legges til grunn på banestrekninger som skal bygges ut til K0-standard.

3 TILLATTE SETNINGER I DRIFTSFASEN

3.1 Prinsipper

Banestrekninger hvor det oppstår ujevne setninger i driftsfasen vil få økt behov for kontroll og justering av spor og kontaktledning. Det er vanskeligst å oppnå akseptable setninger de første årene etter at anlegget er tatt i bruk, ettersom setningsutviklingen i grunnen avtar sterkt med tiden.

Setningene utvikles fra det tidspunkt oppfyllingen skjer. I finkornig grunn er setningsutviklingen langvarig, men er desidert størst like etter oppfylling. Setningsgivende tidsperiode før banedriften starter (t_0) påvirker derfor setningshastigheten i driftsperioden betydelig. I setningskravene er effekten av dette bygget inn.

Tillatte setninger for banelegemet i driftsfasen er gitt i tabell 7.1. Denne tabellen er grunnleggende for regelverkets setningskrav, og gjelder både for maksimalsetninger i enkeltprofil og variasjoner i setningsutviklingen på langs og på tvers av banelegemet. Hovedvekten er lagt på oppnåelse av tilfredsstillende kontroll med differansesetninger på langs og tvers av sporet de første årene av driftsfasen, med kontrollpunkter etter 3 og 9 års drift.

Følgende prinsipper er lagt til grunn ved utformingen av kravspesifikasjonene:

- det aksepteres visse variasjoner av midlere setning i enkeltprofil og visse variasjoner av skjevsetninger fra tverrprofil til tverrprofil langs banelegemet
- det er satt begrensning på hvor store gjennomsnittlige setninger og skjevsetninger som aksepteres i ett enkelt tverrprofil
- tillatte verdier angir hvor raskt differansesetningene, sideskjevhetene og midlere setning får utvikle seg med tiden
- kravene er innrettet mot driftsperioden; det er derfor ikke stilt setningskrav for byggeperioden (eller tiden fram til ferdig justert spor).

Tabell 7.1 Tillatte setninger for banelegemet i driftsfasen

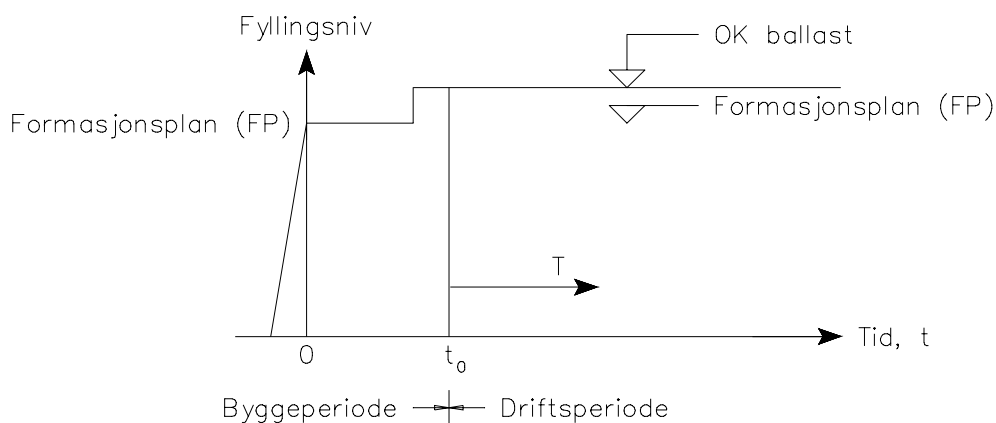
Type setning		Største tillatte setning i driftsfasen		Avstand mellom tverrprofiler*
		3 første driftsår	9 første driftsår	
Setning i enkeltprofil	midlere setning	24 cm	40 cm	-
	skjevsetning	17 ‰	28 ‰	-
Setningsforskjell mellom naboprofiler	differansesetning (helning)	2,8 ‰	4,8 ‰	25 m
		2,2 ‰	3,6 ‰	50 m
		1,4 ‰	2,3 ‰	100 m
	vindskjevhet (variasjon i skjevsetning per 25 meter)	10 ‰	17 ‰	25 m
		7,5 ‰	12,5 ‰	50 m
		5 ‰	8 ‰	100 m

* Setningskravene for differansesetning og vindskjevhet avhenger av avstanden mellom profiler som vurderes. Strengere krav til differansesetning og vindskjevhet mellom naboprofiler dess lengre avstand mellom beregningsseksjoner.

Ved vurdering av setningene på et gitt sted må følgende tidspunkter klarlegges:

- tidspunktet når setningsutviklingen i driftsfasen starter ($t = t_0$, $T = 0$)
- tidspunktet for når terrengsetningene virkelig starter ($t = 0$, $T = -t_0$)

Ved oppfylling på bløt grunn defineres normalt disse tidspunktene med utgangspunkt i figur 7.1.



Figur 7.1 Definisjon av setningsgivende driftstid ($T = t - t_0$) og setningsgivende periode før banedrift (t_0)

Lengden av den setningsgivende perioden før banedriften starter (t_0) influerer sterkt på setningshastigheten de første årene av driftsperioden. Innvirkning av byggeperiodens lengde på setningene i driftsperioden skal derfor alltid tas i betraktning ved prosjekteringen.

Det er stilt setningskrav ved to tidspunkt i driftsfasen, hhv ved 3 og 9 års drift. Det er gitt alternative krav til differansesetninger og skjevsetninger, avhengig av om lengden av det partiet som vurderes er 100 m, 50 m eller 25 m. Med henblikk på utvikling av setningsdifferanser vil kravet være strengere dess lengre parti som vurderes. Endelig vurdering av kritiske partier skal normalt baseres på de krav som er gitt for lengdeintervall 25 m.

Partier med fare for kritiske variasjoner av setningene i driftsfasen vil ofte være lokalisert til fyllinger på varierende grunnforhold. Spesielt gjelder dette overganger fra fast grunn til bløt leirgrunn, tilløpsfyllinger inn mot bruer og kulverter, og andre overganger mot faste konstruksjoner. Partier med variasjoner i setningspotensialet må derfor vektlegges spesielt under prosjekteringen, for eksempel ved prosjektering av sporvekselsløyfer, hvor det kreves samtidig tilgang til begge spor ved justeringsarbeider.

3.2 Tillatt utvikling av differansesetninger i banens lengdeprofil

3.2.1 Kravspesifikasjon

Med henblikk på varierende setninger i banens lengderetning gjelder tabell 7.2 som setningskrav.

Tabell 7.2 *Tillatt utvikling av differansesetninger på langs av nyanlagte baner*

Tidspunkt hvor det stilles setningskrav ¹⁾	Tillatt differansesetning over lengdeintervall ΔL ²⁾ ved aktuelt tidspunkt ³⁾ . Setning angitt i cm / ‰ helning.		
	$\Delta L = 100$ m	$\Delta L = 50$ m	$\Delta L = 25$ m
T = 3 år	14 cm / 1,4 ‰	11 cm / 2,2 ‰	7 cm / 2,8 ‰
T = 9 år	23 cm / 2,3 ‰	18 cm / 3,6 ‰	12 cm / 4,8 ‰

- 1) Tiden (T) regnes fra det tidspunkt sporet er justert, normalt ved driftsstart
- 2) Dersom setningskravet blir funnet å være tilfredsstillt for ett av de tre angitte lengdeintervallene (f.eks. $\Delta L = 100$ m), kan kravet for de øvrige lengdeintervallene (f.eks. $\Delta L = 50$ m og $\Delta L = 25$ m) normalt anses oppfylt.
- 3) Dersom det verifiseres at differansesetningene er mindre enn 70 % av tillatt ved tidspunkt T = 3 år, kan kravet for tidspunkt T = 9 år også anses oppfylt.

3.2.2 Inngangsverdier og bruk av kravene

Tillatt differansesetning på langs av banelegemet varierer med, og er styrt av:

- tidsperiode som betraktes
- setningsgivende tidsperiode før banedriften starter (t_0)
- banelengde som betraktes (ΔL)

Tillatte differansesetninger er angitt for tidspunktene 3 år og 9 år etter driftsstart. For partier som blir funnet å få klart mindre differansesetninger enn tillatt (< 70 % av tillatt) i perioden fram t.o.m. 3 års drift, er det normalt ikke nødvendig å verifisere at setningene også er akseptable på senere stadium i setningsutviklingen. For partier hvor det må treffes spesielle tiltak for å tilfredsstille setningskravet, må begge de angitte tidsperiodene alltid undersøkes.

Det er gitt mulighet for å verifisere at differansesetningene blir akseptable for alternative lengdeintervaller, ΔL , henholdsvis 100 m, 50 m og 25 m. Kravene anses altså normalt oppfylt når de er funnet tilfredsstillt for ett av lengdeintervallene. Kravene er imidlertid satt strengere jo større lengdeintervall som betraktes. På partier hvor det må treffes spesielle tiltak for å oppfylle setningskravet, forutsettes det at lengdeintervall $\Delta L = 25$ m legges til grunn.

3.3 Tillatt variasjon av sideskjevheter langs banelegemet

3.3.1 Kravspesifikasjon

Med henblikk på varierende sideskjevheter langs banelegemet gjelder tabell 7.3 som setningskrav.

Tabell 7.3 *Tillatt utvikling av varierende sideskjevheter (skjevsetninger) langs nyanlagte baner*

Tidspunkt hvor det stilles setningskrav ¹⁾	Tillatt vindskjevhet (variasjon i skjevsetning pr. 25 m) mellom naboprofiler i avstand ΔL ²⁾ ved aktuelt tidspunkt ³⁾ . Setningsforskjell angitt som ‰ helning.		
	$\Delta L = 100$ m	$\Delta L = 50$ m	$\Delta L = 25$ m
T = 3 år	5 ‰	7,5 ‰	10 ‰
T = 9 år	8 ‰	12,5 ‰	17 ‰

- 1) Tiden (T) regnes fra det tidspunkt sporet er justert, normalt ved driftsstart.
- 2) Dersom setningskravet blir funnet å være tilfredsstillt for en av de tre angitte avstandene mellom naboprofiler (f.eks. $\Delta L = 100$ m), kan kravene for de to øvrige profilavstandene (f.eks. $\Delta L = 50$ m og $\Delta L = 25$ m) normalt anses oppfylt.
- 3) Dersom det verifiseres at skjevsetningene er mindre enn 70 % av tillatt ved tidspunkt T = 3 år, kan kravet for neste kontrollpunkt T = 9 år også anses oppfylt.

3.3.2 Inngangsverdier og bruk av kravene

Tillatt forskjell i skjevsetning mellom naboprofiler varierer med, og er styrt av:

- tidsperiode som betraktes
- setningsgivende tidsperiode før banedriften starter (t_0)
- banelengde som betraktes (ΔL)

Tillatt forskjell i skjevsetninger er angitt for tidspunktene 3 år og 9 år inn i driftsfasen. For partier som blir funnet å få klart mindre skjevsetninger enn tillatt (< 70 % av tillatt) ved tidspunkt 3 år, er det ikke nødvendig å verifisere at skjevsetningene er akseptable på senere stadium i setningsutviklingen. For partier hvor det må treffes spesielle tiltak for å oppfylle setningskravet, må begge de angitte tidspunkt alltid undersøkes.

Det er gitt mulighet for å verifisere at forskjellene i skjevsetning blir akseptable for alternative lengdeintervaller, ΔL , henholdsvis 100 m, 50 m og 25 m. Kravene anses altså normalt oppfylt når de er funnet tilfredsstillt for ett av lengdeintervallene. Kravene er imidlertid satt strengere jo større lengdeintervall som betraktes. På partier hvor det må treffes spesielle tiltak for å unngå for store variasjoner i skjevsetningene, forutsettes det at lengdeintervall $\Delta L = 25$ m legges til grunn.

3.4 Tillatte maksimalsetninger i enkeltprofiler

3.4.1 Kravspesifikasjon

Med henblikk på setninger i enkeltprofil gjelder tabell 7.4 som setningskrav.

Tabell 7.4 Akseptert utvikling av maksimale setninger i enkeltprofil (tverrprofil) på nyanlagte banelegemer

Tidsperioder hvor det stilles setningskrav ¹⁾	Tillatt midlere setning i enkeltprofil ²⁾	Tillatt skjevsetning (sideskjevhet) i enkeltprofil ³⁾
T = 3 år	24 cm	17 ‰
T = 9 år	40 cm	28 ‰

- 1) Tiden (T) regnes fra det tidspunkt sporet er ferdig justert, normalt ved driftsstart.
- 2) Dersom det verifiseres at skjevsetningene er mindre enn 70 % av tillatt ved tidspunkt T = 3 år, kan kravet for neste kontrollpunkt T = 9 år også anses oppfylt.

3.4.2 Inngangsverdier og bruk av kravene

Tillatt midlere setning og skjevsetning i enkeltprofiler lokalisert langs banelegemet varierer med og er styrt av

- tidsperiode som betraktes
- setningsgivende tidsperiode før banedriften starter (t_0)

Tillatte midlere setninger og skjevsetninger i tverrprofiler er angitt for tidspunktene 3 år og 9 år etter driftsstart. For partier som blir funnet å få klart mindre differansesetninger enn tillatt (< 70 % av tillatt) ved tidspunkt 3 år etter driftsstart, er det ikke nødvendig å verifisere at setningene også er akseptable på senere stadium i setningsutviklingen. For partier hvor det må treffes spesielle tiltak for å tilfredsstille setningskravet, må begge de angitte tidspunkt alltid undersøkes.

3.5 Akseptable avvik mellom opptredende setninger og krav

Ved prosjektering av jernbaneanlegg skal setningskravene gitt i tabellene 7.2, 7.3 og 7.4 oppfattes som en målsetting på kritiske partier. Det innebærer at følgende tilstrebes:

- at ingen partier får vesentlig større setninger enn tillatt
- at kritiske partier får setninger omtrent som tillatt

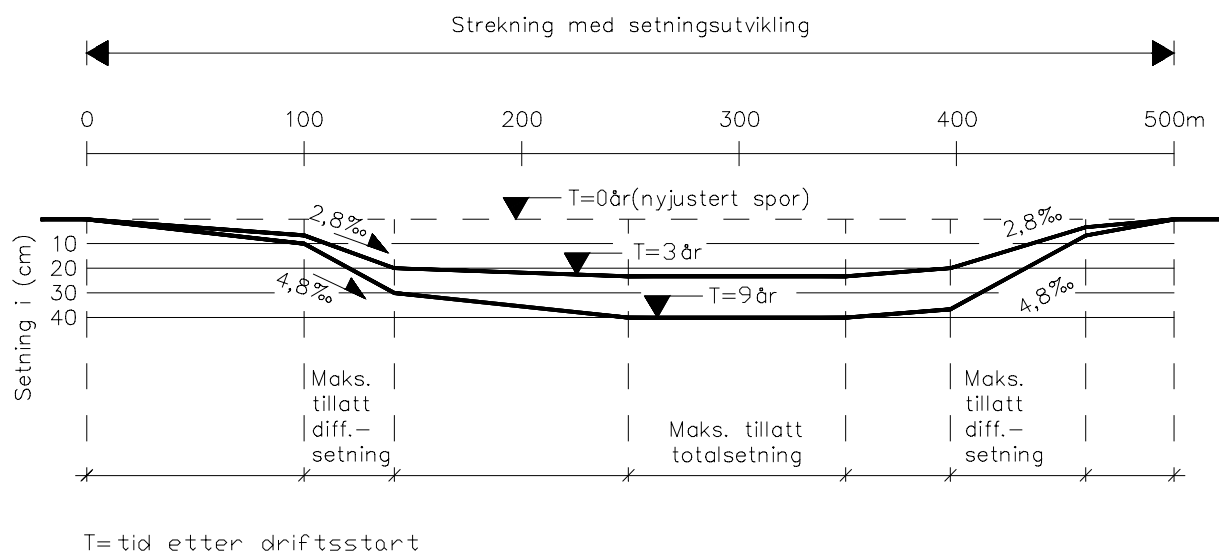
På kritiske partier aksepteres et avvik på inntil ± 25 % mellom prognoserte og opptredende setninger. Byggherren kan imidlertid bestemme strengere krav for enkeltpartier.

Den geoteknisk prosjekterende skal varsle byggherren dersom usikkerheten av setningsprognosene på kritiske partier vurderes å være større enn akseptgrensene.

3.6 Illustrasjon av tillatt setningsutvikling i driftsperioden

3.6.1 Tillatte setninger i lengdeprofil

Akseptert utvikling av differansesetninger og maksimale setninger på langs av nyanlagte banelegemer i henhold til tabellene, er illustrert i figur 7.2. Setningene som er angitt i figuren ventes å gi behov for 2 - 3 justeringer av sporet og kontaktledningen i løpet av de 9 første driftsårene. De viste setningene gjelder altså for et spor som ikke blir justert.

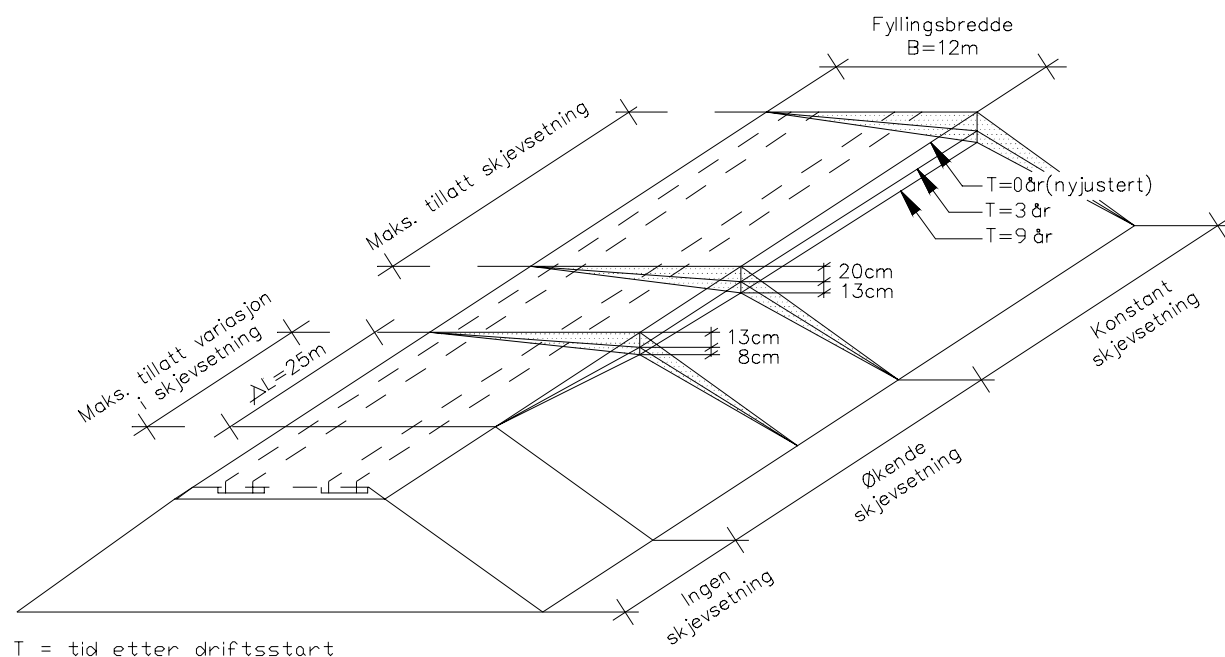


Figur 7.2 Lengdeprofil av parti med utvikling av maksimalt tillatte setninger og differansesetninger i driftsperioden

3.6.2 Tillatte skjevsetninger

Akseptert utvikling av sideskjevheter (skjevsetninger) på tvers av nyanlagte banelegemer i henhold til tabellene 7.3 og 7.4 er illustrert i figur 7.3. Sideskjevhetene som er angitt i figuren ventes å gi behov for 2 - 3 justeringer av sporet og kontaktledningen i løpet av de 9 første driftsårene. De viste setningene gjelder altså for et spor som ikke blir justert.

Setninger



Figur 7.3 Eksempel på parti med utvikling av maksimalt tillatte skjevsetninger i driftsperioden

3.7 Krav til økning av formasjonsplanets bredde

Ved forventede setninger større enn 20 cm skal bredden av formasjonsplanet vurderes øket, slik at krav til skulderbredde, lengde av stikkrenner, plassering av kabelkanal mv. ved evt. løfting av sporet i driftsfasen, blir ivaretatt.

3.8 Setningskrav i forhold til jernbanens mastefundamenter

Ved prosjektering og utbygging av jernbaneanlegg etter regelverkets setningskrav er det gitt en del forutsetninger spesielt for mastefundamenter.

Ved fundamentering av KL-mastene skal en av følgende tre målsettinger legges til grunn, avhengig av de stedlige forholdene:

- alt.1: mest mulig lik setningsutvikling av mastefundament og banelegeme i driftsperioden
- alt.2: mindre setning av mastefundamentene enn av banelegemet
- alt.3: minst mulig setning av mastefundamentene i driftsperioden

Valg av alternativ forutsetning for mastefundamenteringen skal baseres på tabell 7.5.

Tabell 7.5 Målsetting som tilstrebes for mastefundamenteringen
avhengig av stedlige forhold

Lengde av setningsgivende parti	Setninger av banelegemet	Målsetting for mastefundamenteringen		
		Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Kortere enn ca. 150 m	Klart mindre enn tillatt ¹⁾		(x)	x
	Omtrent som tillatt ²⁾		x	(x)
Lenger enn ca. 150 m	Klart mindre enn tillatt ¹⁾	(x)	x	
	Omtrent som tillatt ²⁾	x	(x)	

1) Setninger av banelegemet er akseptable uten bruk av spesielle setningsreducerende tiltak

2) Parti som er kritisk med hensyn på setninger av banelegemet

For korte setningsgivende partier (kortere enn ca. 150 m) er det en fordel om mastefundamentene setter seg mindre enn sporet i driftsperioden. Der fundamenteringsforholdene ligger til rette for det, bør det på slike korte partier velges en fundamenteringsmåte som gir minst mulig setning av mastefundamentene i driftsperioden.

På lengre setningsgivende partier (lenger enn ca. 150 m) skal det, avhengig av fundamenteringsforholdene, velges en fundamenteringsmåte som enten gir lik eller noe mindre setning av mastefundamentene sammenlignet med banelegemet. Større setninger av mastefundamentene enn av sporet må alltid søkes unngått.

Utgangspunktet for mastefundamenteringen på lengre setningsgivende partier er en harmonisk setningsutvikling i driftsperioden, som definert ved alt.1. Omfattende tiltak for å redusere setningene spesielt for mastefundamentene er derfor sjelden aktuelt over lengre strekninger.

4 KRAV TIL DEN GEOTEKNISKE PROSJEKTERINGEN

De angitte krav til kontrollert deformasjonsutvikling innebærer behov for systematisk og målrettet behandling av setningsproblematikken på prosjekteringsstadiet.

Ved prosjektering etter foreliggende regelverk må tidsutviklingen av setningene i driftsfasen beregnes. Da lengden av den setningsgivende perioden før banedriften starter (t_0) influerer sterkt på setningshastigheten de første årene av driftsperioden, må den prosjekterende alltid ta byggetiden (og eventuell liggetid i forlengelsen av denne) i betraktning når setningsprognose inn i driftsfasen utarbeides.

Når setningskravene først er definert, avgrenses prosjekteringsoppgaven til å planlegge slik at setningene holder seg innenfor fastlagte grenseverdier, gitt ved tillatte setninger etter 3 og 9 års driftstid.

Nedenfor gis noen viktige forutsetninger som normalt skal legges til grunn for den geotekniske del av prosjekteringen.

4.1 Geotekniske forundersøkelser og analyser

Hensikten med geotekniske forundersøkelser er å skaffe til veie et tilstrekkelig godt geoteknisk prosjekteringsgrunnlag. For jernbaneanlegg må forundersøkelsene gi grunnlag for å beregne både setninger og stabilitet. Begge problemstillingene må derfor ivartetas ved planlegging og gjennomføring av grunnundersøkelsene.

Så langt det er hensiktsmessig skal grunnundersøkelser og geoteknisk prosjektering baseres på en trinnvis arbeidsgang. Dette for å sikre at undersøkelsene får et omfang som er tilpasset ambisjonsnivået, og at det for eksempel ikke utføres unødig detaljerte undersøkelser på partier hvor setninger og stabilitet er uproblematisk. Naturlig målsetting for et trinnvist opplegg for grunnundersøkelser og setningsberegninger er anskueliggjort i tabell 7.6.

Tabell 7.6 Skissert opplegg for trinnvise grunnundersøkelser og setningsvurderinger

Trinn	Målsetting for grunnundersøkelser	Aktuelle setningsberegninger (og stabilitetsberegninger)
1	Identifisere punkter/partier med mulige setningsproblemer	Overslagsberegninger med antatt karakteristiske parametre
2	Klarlegge hvor det er behov for grunnforsterkningstiltak	Følsomhetsanalyser med variasjon av usikre parametre og beregningsforutsetninger
3	Gi grunnlag for endelig valg og utforming av forsterkningstiltakene	Beregninger av alternative fundamenteringsløsninger

Erfaringer tilsier at visse områder og forhold bør vies spesiell oppmerksomhet under prosjekteringen:

- i områder hvor grunnforholdene endrer seg: for eksempel fra leire/silt til friksjonsjord eller morene og i overganger mot fjell
- i leire med høy sensitivitet (her kan det være artesiske porevannstrykk grunnet underjordiske høydygger med vannførende friksjonsjord eller grovere lag mot oppstikkende fjell
- nær vassdrag og i områder med forekomst av organisk leire

4.2 Setningskrav tilpasset ambisjonsnivået

Bruken av kravene til differansesetninger og sideskjevheter på ulike stadier i prosjekteringen skal tilpasses ambisjonsnivået på det aktuelle prosjekteringsstadiet. Normal tilpassing mellom ambisjonsnivå og setningskrav er som vist i tabell 7.7.

Tabell 7.7 *Anbefalt bruk av setningskravene på ulike stadier under prosjekteringen*

Ambisjonsnivå for geotekniske undersøkelser og analyser	Setningskrav som legges til grunn ¹⁾		
	Krav gitt for $\Delta L = 100$ m	Krav gitt for $\Delta L = 50$ m	Krav gitt for $\Delta L = 25$ m
a) Mulige problempunkter identifiseres	x	(x)	
b) Fastlegging av kritiske partier (som trolig trenger spesielle tiltak)		x	(x)
c) Valg av fundamenteringstiltak på kritiske partier			x

1) Jf. kravspesifikasjonene i tabell 7.2 og 7.3

4.3 Setningsutjevning av kritiske partier

Det skal normalt bare benyttes setningsreducerende tiltak på partier som forventes å få større differansesetninger, skjevsetninger eller maksimalsetninger større enn angitt i tabell 7.1. For å unngå unødig store kostnader til fundamenteringstiltak på kritiske partier skal følgende prinsipper følges:

- der maksimalsetningene ikke er kritiske, skal nødvendig setningsutjevning vektlegges framfor generell setningsreduksjon
- økonomisk gunstige tiltak velges for å oppnå nødvendig setningsreduksjon og setningsutjevning
- byggeperioden utnyttes til setningsutjevning der dette er mulig

4.4 Bruk av setningsreduserende tiltak

Planlegging av setningsreduserende tiltak er en integrert del av prosjekteringen. I prinsippet kan velges mellom tre typer tiltak, gruppert etter funksjon / virkemåte:

1. Redusere tilleggsbelastningene på setningsgivende jordlag
2. Øke jordstivheten
3. Øke setningsutviklingen i byggeperioden

En oversikt over de mest aktuelle metodene for setningsreduksjon og deres primære og sekundære virkemåter er vist i tabell 7.8. I enkelte tilfeller kan det være aktuelt å kombinere flere metoder. Mest aktuelle kombinasjonsløsninger er forbelastning i kombinasjon med vertikale dren og masseutskifting med lette fyllmasser (det siste dersom helt kompensert fundamentering ønskes). På forsøksstrekningen på Hovedbanen er KC-peler kombinert med lette fyllmasser.

Tabell 7.8 Virkemåter for setningsreduserende tiltak

Tiltak/metode	Virkemåter		
	Redusert tilleggsbelastning	Økt jordstivhet	Økt setningsutvikling i byggeperioden
Økt liggetid av fyllinger		B	A
Masseutskifting		A	
Forbelastning		B	A
Lette fyllmasser	A		
KC-peler		A	B
Vertikale dren		B	A
Elektroosmose		A	B
Peler under fylling	A		
Bru	A		

A: primær virkemåte

B: sekundær virkemåte

Behovet for setningsreduserende tiltak må fastlegges med grunnlag i beregninger og vurdering av forventede setninger målt opp mot gitte setningskrav. Størst behov for tiltak vil normalt være på følgende steder:

- Partier med endring i grunnforholdene; særlig inn mot fast fjell
- Fyllingsavslutninger inn mot faste konstruksjoner (bruer, kulverter)
- Korte fyllingspartier
- Partier med sterkt varierende fyllingshøyde
- Partier med tidligere oppfylling
- Partier over bekker og elver

Valg og utforming av tiltakene må vurderes i hvert enkelt tilfelle; helst med basis i en teknisk og økonomisk vurdering av flere alternativer. Nødvendig omfang av tiltakene, og dermed også kostnadene, øker sterkt med fyllingshøyden. På setningsgivende grunn er det derfor viktig at høye fyllinger legges ut så tidlig som mulig, og at eventuelle tiltak i forbindelse med slike fyllinger optimaliseres godt. Erfaringer har vist at det kreves mer omfattende tiltak for å jevne ut overganger mellom bløt og fastere grunn enn for å jevne ut setningsforskjeller som skyldes varierende fyllingshøyde.

5 SETNINGSOPPFØLGING

5.1 Generelt

Det er viktig å skaffe erfaringsgrunnlag om setninger av nye banestrekninger.

Et system for oppfølging av setninger i anleggs- og driftsfasen skal derfor vurderes under prosjekteringen av nye banestrekninger på bløt grunn. Systemet bør beskrives i anbudsdokumentene.

En setningsoppfølging vil gi grunnlag for å

- følge opp setningene i anleggsfasen, spesielt ved trinnvis oppbygging av fyllinger
- sammenligne opptredende og prosjekterte setninger
- undersøke effekten av ulike setningsreducerende tiltak
- følge setningsutviklingen mellom banelegeme og master
- følge setningsutviklingen over tid
- følge sammenhengen mellom sporfeil og setninger
- identifisere problemområder for drift og vedlikehold pga. setninger
- evaluere setningskravene

Alternative metoder for setningsoppfølging kan være målinger i spesielle slanger lagt under hele fyllingsbredden (i hele tverrprofilen); eller det kan være setningsmåling i enkeltpunkter, samt nivellement og målinger tilknyttet banens geodetiske fastmerkepunkter.

5.2 Setningsoppfølging med setningsslanger

For å kunne følge setningsutvikling på spesielt utsatte partier, og for å vinne erfaring med evt. setningsreducerende tiltak som gjøres, kan det legges ut slanger for måling av setning under fyllinger mv.

Det kan f.eks. benyttes fleksible polyetylenrør med diameter 75 mm eller større. Disse må ha glatt overflate innvendig. Slangeendene skal utstyres med avtakbart lokk.

Slangene kan legges under fylling på naturlig grunn, slik at en helt unngår innvirkning av egensetning i overliggende fylling. Rørene omfylles med grus, slik at de er beskyttet mot skader. Det må nøyaktig angis hvor slangeender befinner seg, lengde på utlagt slange o.l.

Det kan ofte anleggsmessig være lettere å komme til når fylling er lagt ut opp til traubunn. Som regel vil egensetningene i fyllingen være beskjedne i forhold til setning i undergrunnen, og det er derfor tilstrekkelig å måle på traubunn. Imidlertid går en da glipp av de setninger som evt. har utviklet seg mens fylling opp til traubunn bygges, og det må derfor være en avveining i det enkelte tilfelle hva som er den beste praktiske løsningen. Slinger bør uansett legges så tidlig som mulig under anleggsarbeidene.

Måling kan gjøres med hydraulisk slangesetningsmåler, som i prinsippet er en væskefylt slange med en målesonde i enden. Høydeforskjell mellom målesonde og måleapparat registreres etter hvert som målesonden skyves inn i slangen.

5.3 Målinger

Da setningskravene konsentrerer seg om avstander hhv. 25, 50 og 100 m som intervaller for setningsberegninger, bør setningsmålingene også utføres med de samme intervaller for å få et grunnlag som kan sammenlignes med de utførte beregninger.

Måling bør komme i gang så raskt som mulig, da setningene ofte går raskest til å begynne med. Særlig er det viktig at en referansemåling utføres tidlig, slik at en har et «0-punkt» for øvrige målinger.

Målehyppigheten må være størst i byggeperioden og tidlig i driftsfasen, og kan senere tynnes ut mot kontrollpunktene 3 og 9 års driftstid, justert i forhold til tendensen i setningsutviklingen.

Måling i forhold til tilfeldig valgte «fastpunkter» kan ofte vise seg å være problematisk, i det merkene forsvinner under anleggsarbeidene. Høydebestemmelse av fastmerkene så tidlig som mulig er derfor viktig, slik at eksakte høyder for setningsslanger, setningsbolter og stenger blir pålitelig fastlagt. Der G-VUL etableres langs banen kan dette vurderes benyttet som høydereferanse for setningsmålingene.