1 Hensikt og omfang 2
1.1 Hensikt 2
1.2 Omfang 2
1.3 Grunnleggende krav 3
1.3.1 Utfestingsmetode 3
1.3.2 Fastmerkenett 3
2 Varig utfesting av linjen 4
2.1 Generelt 4
2.2 VUL-merker 4
2.2.1 Generelt 4
2.2.2 Plassering og montering 4
2.2.2.1 Elektrifiserte strekninger 5
2.2.2.2 Ikke-elektrifiserte strekninger 5
2.2.3 Nummerering 5
2.2.4 Koordinatbestemmelse 6
2.3 Sporets teoretiske beliggenhet 6
2.3.1 Kilometrering 6
2.3.2 Pilhøyder 6
2.3.3 VUL-data 6
2.3.4 Baksekorridor 7
2.3.5 Beregning 7
3 Geodetisk varig utfesting av linjen 9
3.1 Generelt 9
3.2 Sporets teoretiske beliggenhet 9
3.2.1 Nye baner/linjeomlegginger 9
3.2.2 Eksisterende baner 9
3.2.2.1 Registrering av nåværende beliggenhet 10
3.2.2.2 Beregning av ny teoretisk beliggenhet 10
4 Geodetisk fastmerkenett 11
4.1 Generelt 11
4.2 Tidspunkt for etablering av fastmerkenett på nyanlegg 11
4.3 Fysiske krav 12
4.3.1 Fastmerkenes utforming og merking 12
4.3.1.1 Sikrings- og brukspunkt 12
4.3.1.2 Nivellementspunkt 12
4.3.1.3 Nummerering og merking 13
4.3.2 Fastmerkenes tetthet og plassering 14
4.4 Geodetiske krav 15
4.4.1 Geodetisk referanse 15
4.4.1.1 Horisontalt datum og kartprojeksjon 15
4.4.1.2 Vertikalt datum/høydesystem 15
4.4.2 Geodetisk kvalitet 15
4.4.2.1 Grunnriss 15
4.4.2.2 Høyde 16
4.4.3 Målinger 17
4.4.3.1 Sikringspunkt 17
4.4.3.2 Nivellementspunkter 17
4.4.3.3 Brukspunkt 18
4.4.4 Beregninger 18

1 HENSIKT OG OMFANG

Kapitlet omhandler prosjektering av

- varig utfesting av linjen
- geodetisk varig utfesting av linjen
- geodetisk fastmerkenett

1.1 Hensikt

Utfesting av linjen har som formål å registrere et spenningsnøytralisert helsveist spors ideelle beliggenhet og geometriske forløp i et ytre referansesystem. Dette skal utføres på en slik måte at resultatene er til nytte for kontroll og justering av sporets beliggenhet i ettertid.

Metoden skal gi en beskrivelse av sporets teoretiske (ideelle) beliggenhet. Ved senere kontroller registreres sporets faktiske beliggenhet i det samme referansesystemet. Tidligere registreringer av sporets faktiske beliggenhet benyttes for å overvåke sporets beliggenhet over tid.

Ved å sammenstille tilhørende verdier for sporets teoretiske og faktiske beliggenhet beregnes sporets avvik fra teoretisk beliggenhet. Verdiene benyttes, sammen med resultater fra målevognskjøring, for å vurdere om det er behov for justering av sporet og gir følgelig korreksjonsverdier ved sporjustering. Dette danner dermed utgangspunkt for rekonstruksjon av sporets teoretiske beliggenhet.

1.2 Omfang

Utfesting av linjen skal gjennomføres på alle hovedspor i det offentlige jernbanenettet.

Arbeidet skal prioriteres på følgende steder:

- Nye baner/linjeomlegginger
- Høyhastighetsbaner og baner med stor trafikkbelastning
- Strekninger som trafikkeres med krengetogsmatriell
- Strekningsavsnitt hvor det skal utføres operasjoner som kan influere på skinnenes nøytraltempratur, f.eks. ballastrensing, svillebytte, skinnebytte, større baks/løft og helsveising.
- Strekningsavsnitt hvor det er registrert tendenser til solslyng, særlig hvor sporet ligger på fylling slik at en avsporing kan få store konsekvenser.

1.3 Grunnleggende krav

1.3.1 Utfestingsmetode

Utfesting av linjen kan utføres på to måter:

- varig utfesting av linjen - VUL
- geodetisk varig utfesting av linjen - GVUL

Valg av system gjøres etter følgende kriterier:

- GVUL: K0-baner/strekninger
  nye baner/strekninger
  strekninger med større linjeomlegginger
- VUL: øvrige baner

1.3.2 Fastmerkenett

I forbindelse med etablering av VUL / GVUL på en strekning, skal det også etableres et geodetisk fastmerkenett langs hele strekningen.

Fastmerkenettets oppbygning og kvalitet er avhenging av aktuelt system for utfesting. Krav til fastmerkenettet er beskrevet i avsn. 4.

2 VARIG UTFESTING AV LINJEN

2.1 Generelt

Varig utfesting av linjen (VUL) har som formål å definere og etablere sporets beliggenhet i et ytre referansesystem. Metoden baseres på at sporets teoretiske beliggenhet refereres som relativ beliggenhet i forhold til egne VUL-merker langs banen. Disse merkene skal igjen koordinat-bestemmes fra et geodetisk fastmerkenett.

VUL skal resultere i horisontal og evt. vertikal avstand mellom VUL-merkene og sporet samt kilometrerte verdier for sporets karakteristiske trasépunkter (OB, OE, FOB, KP, FKP, HBP, LBP, SE). Kombinert med tilhørende geometriparametre (radier, lengde på overgangskurver, overhøyder) danner denne informasjonen basis for kontroll og vedlikehold av sporets geometri. VUL/trasé-informasjonen skal forvaltes sentralt gjennom Banedatabanken og gjennom lokale registre.

Følgende operasjoner inngår i VUL på et strekningsavsnitt:

- Etablering av geodetisk fastmerkenett
- Etablering av VUL-merker
- Registrering av sporets nåværende beliggenhet
- Beregning av sporets nye beliggenhet (teoretisk)
- Etablering av sporets nye beliggenhet (faktisk)
- Rapportering av VUL/trasé-informasjon til Banedatabanken og lokalt register

2.2 VUL-merker

2.2.1 Generelt

Langs sporet etableres VUL-merker som danner utgangspunkt for utfestingen. For å gjøre systemet mest mulig pålitelig må VUL-merkene gis mest mulig stabil forankring, helst fjell.

Der er utviklet to hovedtyper VUL-merker, ett for montering på vertikale flater og ett for montering på horisontale flater. Både sidemerket og toppmerket har et fast referansepunkt til bruk under utfestingen. Se vedlegg 5.a for beskrivelse/tegning av VUL-merkene.

2.2.2 Plassering og montering

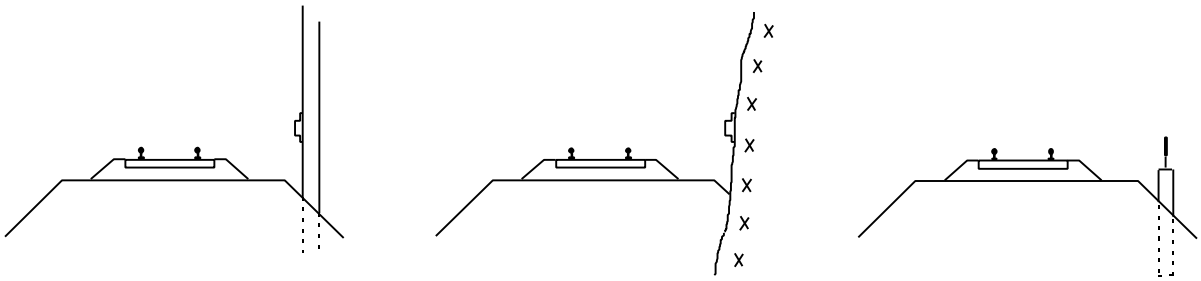
VUL-merkene skal plasseres i umiddelbar nærhet av sporet. Avstanden fra VUL-merkene til spormidt bør være 3,0 - 4,5 m avhengig av de lokale forhold. Tabell 13.1 viser anbefalt innbyrdes avstand mellom VUL-merkene.

Tabell 13.1 Anbefalt avstand mellom VUL-merkene

Kurveradius[m]	- 200	200 - 300	300 - 400	400 - 500	500 - 600	600 - 700	700 -
Avstand [m]	30	35	40	45	50	55	60

På lange rettstrekninger kan imidlertid VUL-merkene plasseres med opptil 250 m mellomrom. Der hvor det er mulig, bør VUL-merkene plasseres utenfor karakteristiske trasépunkter (OB, OE, KP, LBP, HBP, SE osv). I kurve bør VUL-merkene plasseres på yttersiden av kurven. Horisontal og vertikal avstand fra VUL-merket til sporet (nærmeste skinne) vil som regel kunne variere fra

merke til merke. Den vertikale avstanden kan likevel gjøres konstant fra merke til merke dersom det er ønskelig.



Figur 13.1 *Plassering av VUL-merker på kontaktledningsmast, fjell og eget fundament*

2.2.2.1 Elektrifiserte strekninger

På elektrifiserte strekninger vil det ofte være hensiktsmessig å plassere VUL-merkene på kontaktledningsmastene. Avstanden mellom VUL-merkene kan derfor avvike noe fra tabell 13.1. I tunneler og i fjellskjæringer skal likevel VUL-merkene festes i fjell/betong. I begge tilfeller brukes VUL-merket for montering på vertikale flater (sidemerket). VUL-merkene plasseres ca 25 cm over skinnetopp til nærmeste skinne.

På kontaktledningsmaster av tre kan merkene festes med treskruer eller på annen hensiktsmessig måte. Hvis kontaktledningsmastene er av betong bør merkene festes med klammer. På kontakt-ledningsmaster av stål bør merkene festes med bolter eller nagler.

Når det lages hull i galvaniseringen av stålmaster, skal masten pensles/sprayes med galvazink-maling på det aktuelle stedet før VUL-merket festes. Etter at VUL-merket er festet skal bolt og boltehode samt hullkanter behandles på samme måte.

2.2.2.2 Ikke-elektrifiserte strekninger

På ikke-elektrifiserte strekninger skal VUL-merkene om mulig festes i fjell ca 25 cm over skinnetopp til nærmeste skinne. Dersom feste i fjell ikke kan oppnås benyttes eget fundament. Fundamentene skal plasseres slik at de står stabilt og skal være forankret i telesikker grunn.

Normalt bør maksimalt 25 cm av fundamentet stikke opp over bakken for å unngå at fundamentet blir for høyt. Toppmerket festes på toppen av fundamentet. Dersom forholdene tilsier at høye fundamenter kan benyttes (ca 25 cm over skinnetopp til nærmeste skinne) kan sidemerke benyttes.

2.2.3 Nummerering

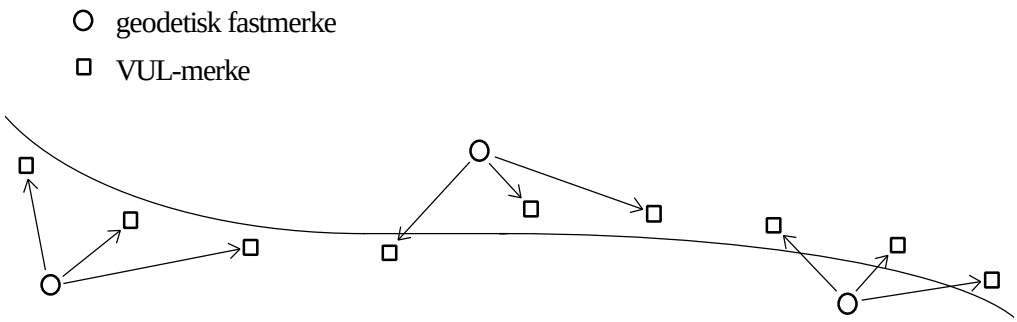
VUL-merkene skal nummereres slik at de lett kan identifiseres i ettertid. På elektrifiserte strekninger brukes mastenummeret, med prefiks “VUL-”, også som nummer på VUL-merkene. Dersom VUL-merket ikke er festet til masten, benyttes mastenummer for den nærmeste masten. I tillegg brukes bokstavene M, F og A som for å markere om merket er festet i mast, i fjell eller til andre objekt.

Eks:	VUL-1714M	VUL-merke på mast nr 1714
	VUL-1715F	VUL-merke ved mast nr 1715, festet i fjell
	VUL-1716A	VUL-merke ved mast nr 1716, festet i annet enn mast/fjell

På ikke-elektrifiserte strekninger gis VUL-merkene egne 5-sifrede nummer, sammensatt av to deler: Kilometerangivelse (3 siffer) og fortløpende nummer innen hver km (2 siffer).
Eks: 313-01 VUL-merke nr 1 på km 313

2.2.4 Koordinatbestemmelse

Alle VUL-merker som ikke er festet i fjell skal koordinatbestemmes fra et geodetisk fastmerkenett. I tillegg bør også VUL-merker festet i fjell også koordinatbestemmes. Som referanse for koordinatene benyttes midtpunktet på skjæringslinjen mellom horisontal og vertikal referanseflate på hvert VUL-merke. Hvert VUL-merke skal koordinatbestemmes med dobbeltmåling fra nærmeste fastmerke i det geodetiske fastmerkenettet som vist i 13.2.



Figur 13.2 Koordinatbestemmelse av VUL-merker

Krav til geodetisk kvalitet (maksimal deformasjon) for VUL-merkenes koordinater i forhold til det geodetiske fastmerkenettet er beskrevet i 13.2.

Tabell 13.2 Krav til geodetisk kvalitet for VUL-merkenes koordinater

p (ppm)	k (mm)
0	5

2.3 Sporets teoretiske beliggenhet

2.3.1 Kilometrering

For å kunne registrere sporets nåværende beliggenhet er det nødvendig med nøyaktig kilometer på den aktuell strekning. I forbindelse med kilometreringsarbeidet skal det også registreres nøyaktig kilometer for hvert VUL-merke.

2.3.2 Pilhøyder

Sporets pilhøyder måles for å danne grunnlag for beregning av ny teoretisk beliggenhet. Pilhøydene kan måles manuelt, men bør helst utføres maskinelt med målevogn.

2.3.3 VUL-data

Den horisontale og vertikale avstanden mellom spor og VUL-merke (VUL-data) måles umiddelbart før eller etter pilhøydemåling med en VUL-målestav. Målestaven skal typegodkjennes av banesjefen på den aktuelle strekning. Målingene gjøres fra referansepunktet på VUL-merket til

innerkant nærmeste skinne, 14 mm under sporplanet. Målingene skal utføres minst to ganger fra hvert VUL-merke og deretter midles. Maks tillatt avvik mellom målingene er 5 mm.



Figur 13.3 Måling av VUL-data med VUL-målestav (prinsipp)

Av praktiske grunner velges ikke spormidt som referanse. Ved å velge kjørekanten, vil det som følge av sporutvidelse og skinneslitasje over tid bli en viss endring av sporets beliggenhet. Denne endringen kan imidlertid neglisjeres.

2.3.4 Baksekorridor

Baksekorridoren angir for hvert delavsnitt av sporet den maksimalt mulige bakseverdi til hver side. Verdiene fastsettes etter ulike vurderinger og ved fastsettelse av baksekorridoren er følgende forhold særlig viktige å ta hensyn til:

- dobbeltsporet strekning
- innskrenkninger i minste tverrsnitt
- smale fyllinger
- kontaktledningen
- faste bruer og brukar
- sporveksler
- plattformer
- planoverganger

På steder hvor faste gjenstander danner innskrenkninger i eller har liten klaring til minste tverrsnitt, bestemmes baksekorridorens størrelse på grunnlag av utførte profilmålinger eller egne målinger foretatt med mal, landmåling eller liknende. Referansepunkter i forbindelse med profilmålinger skal kontrolleres dersom det er usikkerhet om sporets beliggenhet i forhold til dem.

2.3.5 Beregning

Utarbeidelse av ny teoretisk beliggenhet vil ofte innebære en forskyvning/justering av eksisterende spor for å oppnå en gunstigere trasé. Med dette menes i alminnelighet en trasé med færre kurver, lengre overgangskurver og jevnere krumningsforløp gjennom kurvene.

Sporets nye teoretiske beliggenhet, dvs nye karakteristiske trasépunkter og traségeometri, beregnes på grunnlag av målte verdier i eksisterende spor. I tillegg beregnes avviket mellom nåværende beliggenhet og ny beliggenhet i form av justeringsverdier. Under arbeidet skal det tas hensyn til den fastsatte baksekorridoren.

Nye VUL-data beregnes ved å korrigere målte VUL-data med justeringsverdiene. De nye VUL-data definerer sporets nye teoretiske beliggenhet.

3 GEODETISK VARIG UTFESTING AV LINJEN

3.1 Generelt

Geodetisk varig utfesting av linjen (GVUL) har som formål å definere og etablere sporets beliggenhet i et ytre referansesystem. Metoden baseres på at sporets teoretiske beliggenhet defineres som en matematisk linjeberegning, koordinatfestet i et geodetisk fastmerkenetts referansesystem.

GVUL skal resultere i koordinatbestemt informasjon i grunnriss og høyde om sporets karakteristiske trasépunkter (OB, OE, FOB, KP, FKP, HBP, LBP, SE). Kombinert med tilhørende geometriparametre (radier, lengde på overgangskurver, overhøyder) danner denne informasjonen basis for kontroll og vedlikehold av sporets geometri. GVUL/trasé-informasjonen skal forvaltes sentralt gjennom Banedatabanken og gjennom lokale registre.

Følgende operasjoner inngår i GVUL for et strekningsavsnitt:

- Etablering av geodetisk fastmerkenett
- Registrering av sporets nåværende beliggenhet (gjelder oftest eksisterende baner)
- Beregning/prosjektering av sporets nye beliggenhet (teoretisk)
- Etablering av sporets nye beliggenhet (faktisk)
- Rapportering av GVUL/trasé-informasjon til Banedatabanken og lokalt register

3.2 Sporets teoretiske beliggenhet

3.2.1 Nye baner/linjeomlegginger

På nye baner samt ved større linjeomlegginger prosjekteres, stikkes og justeres sporets beliggenhet ut på grunnlag av en linjeberegning. Linjeberegningen gir koordinatbasert informasjon om karakteristiske trasépunkter i tillegg til traségeometrisk informasjon. Disse opplysningene skal som regel adopteres som sporets teoretiske beliggenhet.

Det kan imidlertid vise seg at prosjekteringsgrunnlaget (bakgrunnskartet etc.) ikke har tilstrekkelig kvalitet i forhold til det geodetiske fastmerkenettet eller de videre prosesser som skal gjøre bruk av GVUL-informasjonen. Dessuten kan det være at stikningsarbeidene ikke er basert på det geodetiske fastmerkenettets sikringspunkter, men fra et fastmerkenett av dårligere kvalitet. I slike tilfeller skal derfor linjeberegningen og utstikningsarbeidene verifiseres på basis av målinger fra/til det geodetiske fastmerkenettet.

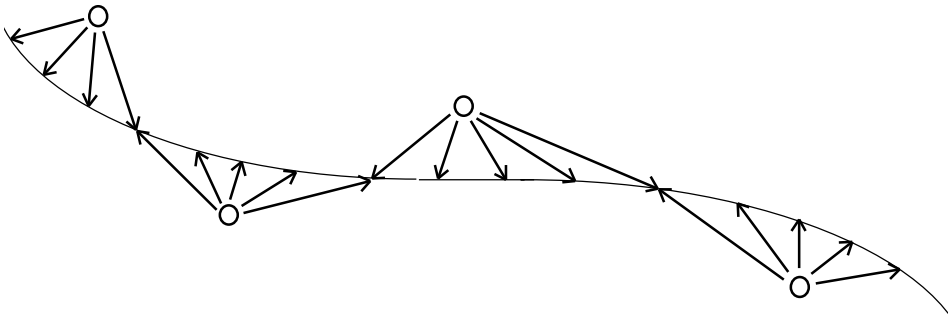
Dersom det avdekkes at linjeberegningen og/eller stikningsarbeidene ikke gir tilstrekkelig kvalitet i linjeføringen, må det utarbeides ny linjeberegning med utgangspunkt i ny innmåling av spor. Innmålingen skal gjøre med utgangspunkt i det endelige geodetiske fastmerkenettet langs banen. Nærmere beskrivelse av dette finnes i avsn. 3.2.2.

3.2.2 Eksisterende baner

Ved etablering av sporets teoretiske beliggenhet der denne i utgangspunktet er ukjent (eller ikke kjent med tilstrekkelig sikkerhet), er det ofte hensiktsmessig å korrigere sporet i forbindelse med GVUL. For å etablere GVUL utføres registrering/innmåling av sporets nåværende beliggenhet. Dette skal igjen danne grunnlag for beregning av sporets nye teoretiske beliggenhet.

3.2.2.1 Registrering av nåværende beliggenhet

Sporet skal måles inn med polar innmåling med utgangspunkt i et geodetisk fastmerkenett. Alle karakteristiske trasépunkter, stokkskinneskjøter, bakkant hovedspor/avvik skal måles inn. I tillegg skal sporet måles inn for hver 10. meter. I krappe kurver og ved komplisert kurvatur bør sporet måles inn med noe kortere intervall.



Figur 13.4 Innmåling av spor

Ved innmålingen skal enten begge skinnestrenger måles eller så skal det benyttes metode/utstyr som gjør det mulig å registrere spormidt i grunnriss, laveste skinnestreng i høyde samt overhøyde. Geodetiske krav til registreringen er vist i tabell 13.3.

Tabell 13.3 Krav til geodetisk kvalitet ved innmåling av spor

Kvalitetsklasse	p (ppm)	k (mm)
K0	0	3
K1-K5	0	5

I tillegg til sporet skal det også måles inn detaljer som kan komme i konflikt med minste tverrsnitt ved mindre sporjusteringer, f.eks. plattformkant, master, fjellskjæringer, tvangspunkter og tvangsnivåer mm. Eventuelle profilmålinger kan også være av interesse.

3.2.2.2 Beregning av ny teoretisk beliggenhet

Ved hjelp av innmålte spor- og detaljpunkter utarbeides en linjeberegning for sporets nye beliggenhet. Utarbeidelse av ny teoretisk beliggenhet vil ofte innebære en forskyvning/justering av eksisterende spor for å oppnå en gunstigere trasé. Med dette menes i alminnelighet en trasé med færre kurver, lengre overgangskurver og jevnere krumningsforløp gjennom kurvene.

Det bør etterstrebes minst mulig justering av sporets beliggenhet samt at sporet bør få en enklest mulig kurvatur. Det må også tas hensyn til eksisterende overhøyde i kurvene samt evt tvangspunkter/-nivåer i linjeføringen.

4 GEODETISK FASTMERKENETT

4.1 Generelt

Det geodetiske fastmerkenettet er et selvstendig teknisk anlegg som skal tjene som felles og uavhengig referanse ved bygging og vedlikehold av ulike banetekniske anlegg.

Fastmerkenettet består av fastmerker delt inn i tre kategorier:

- sikringspunkt
- nivellementspunkt
- brukspunkt

Sikringspunktene er hovednett i grunnriss og skal knytte fastmerkenettet til nasjonalt geodetisk grunnlag i grunnriss og danne grunnlag for brukspunktene (grunnriss og høyde).
Nivellementspunktene er hovednett i høyde og skal knytte fastmerkenettet til nasjonalt geodetisk grunnlag i høyde samt sikre høydeoverføring til sikringspunktene.
Brukspunktene er de fastmerkene som i første rekke blir benyttet ved landmålingsarbeidene og skal knyttes til sikringspunktene.

Fastmerke deles inn i fire klasser:

- A Sikrings- og nivellementspunkt
- B1 Brukspunkt - høy kvalitet
- B2 Brukspunkt - middels kvalitet
- B3 Brukspunkt - lav kvalitet

Et komplett fastmerkenett består av fastmerker i klasse A samt en av B-klassene (B1-B3). Hvilken av de tre B-klassene som velges er avhengig av ønsket nøyaktighet og pålitelighet. Som regel vil krav til utfesting av linjen/sporjustering være dimensjonerende. Tabell 13.4 viser valg av kvalitetsklasse ved de ulike utfestingsmetodene. Ved bruk av GVUL skilles det mellom K0-strekninger og øvrige strekninger.

Tabell 13.4 Valg av kvalitetsklasse

Kvalitets-Klasse	Utfestingsmetode		
	GVUL (K0)	GVUL (K1-K5)	VUL
A + B1	x		
A + B2		x	
A + B3			x

4.2 Tidspunkt for etablering av fastmerkenett på nyanlegg

Fastmerkenettets sikrings- og nivellementspunkter skal benyttes som grunnlag for stikningsarbeider på nyanlegg. Fastmerkene etableres (dvs. oppføres, koordinatbestemmes og dokumenteres) derfor så tidlig i byggefasen som mulig. Det må tas spesielt hensyn til at fastmerkene ikke forringes av, eller er til ulempe for, øvrige byggeaktiviteter.
Brukspunktene etableres senest i siste del av byggefasen (ved sluttjustering av sporet) før anlegget settes i drift.

4.3 Fysiske krav

4.3.1 Fastmerkenes utforming og merking

4.3.1.1 Sikrings- og brukspunkt

Fastmerkene skal utformes og plasseres slik at observatør enkelt kan sentrere måleinstrumentet i forhold til fastmerket og deretter utøve aktuelle observasjoner effektivt. Tabell 13.5 viser utforming og fundamentering av fastmerkene.

Tabell 13.5 Utforming og fundamentering av sikrings- og brukspunktene

Kvalitets-klasse	Fjell/Betong	Løsmasse	Tunnel	Bru
A + B1	Søyle	Søyle (telesikker)	Søyle/ tunnelmerke	Søyle/ lokal tilpassing
A + B2	Bolt	Bolt i telesikkert fundament	Bolt/hylsemerke	Bolt/ lokal tilpassing
A + B3	Bolt	Bolt i telesikkert fundament	Bolt/hylsemerke	Bolt/ lokal tilpassing

Fastmerkene skal være fundamentert til et så stabilt underlag som mulig. Sikringspunktene skal fortrinnsvis fundamenteres til fast fjell. På bruer tilstrebes en fundamentering og utforming av fastmerkene som er hensiktsmessig i forhold til bruas utforming. Tunnelmerke skal ha avviserbøyler merket med refleks. Eksempler på utforming og fundamentering av fastmerker er vist i vedlegg 13.b.

På søyler og tunnel-/hylsemerker skal det etableres en instrumentplate. I senter av platen skal det være en 5/8" UNC-skrue, der senter av skruen er grunnrissreferansen. Høydereferansen skal være en kul i ytterkanten av instrumentplaten, slik at entydig høyde sikres. På hylsemerker kan imidlertid kulen sløyfes pga. liten plass på instrumentplaten.

Ved bruk av bolt er det boltens sentrum (markert med kors eller tilsvarende i boltens topp) som er grunnrissreferansen, mens høydereferansen er topp bolt.

4.3.1.2 Nivellementspunkt

Nivellementsspunktene skal alltid være stabilt fundamentert, fortrinnsvis i fast fjell. Fundamentering i løsmasse skal bare forekomme dersom fast fjell ikke er tilgjengelig. Fastmerkene skal plasseres slik at observatør enkelt kan benytte nivellementutstyr og utøve aktuelle observasjoner effektivt.

Fastmerket etableres med særskilt bolt der høydereferansen er topp bolt.

4.3.1.3 Nummerering og merking

Regler for nummereringen av fastmerker er fra Statens kartverks standard "Fastmerke-nummerering og fastmerkeregister". Hvert fastmerke tildeles et fastmerkenummer med 11 tegn som fordeles slik:

4 siffer	kommunenummer
1 bokstav	institusjon
1 bokstav	punkttype
4 siffer	nummer
1 siffer	identikator

Kommunenummer:
Offisielt kommunenummer for den kommunen fastmerket ligger i.

Institusjon:
Følgende bokstav skal benyttes:
B: Jernbaneverket (bane)

Punkttype:
Følgende bokstaver skal/kan benyttes:
N: Nivellementspunkt
P: Brukspunkt (polygonpunkt), for nr. 0001-9999
Q: Brukspunkt (polygonpunkt), for nr. 10000-19999 (bør unngås)
R: Brukspunkt (polygonpunkt), for nr. 20000-29999 (bør unngås)
T: Sikringspunkt (trekantpunkt)

Nummer:
Følgende nummerserie skal benyttes:
0001-9999 (for nummer lavere enn 1000 skal venstrestilte nuller registreres)

Identikator:
Følgende siffer skal benyttes:
0: Sentrumsfastmerket
1-9: Eksentriske markeringer/sikringsbolter (lite aktuelt for Jernbaneverket)

Eks:	0211BT02540	Vestby kommune, sikringspunkt (trekantpunkt) etablert av JBV, nummer 245, sentrumsmerke
	0605BP23710	Ringerike kommune, brukspunkt (polygonpunkt) etablert av JBV, nummer 2371, sentrumsmerke
	1804BN78460	Bodø kommune, nivellementspunkt etablert av JBV, nummer 7846, sentrumsmerke

Fastmerkenummeret skal være angitt på fastmerket, på metallskive eller på annen varig måte, slik at bruker på stedet kan forvisse seg om identiteten til fastmerket. Eksisterende fastmerker (også de som ble etablert av infrastrukturdelen i tidl. NSB) bør omnummereres og tilpasses de samme reglene.

Sikrings- og nivellementfastmerker som etableres i umiddelbar nærhet av hverandre (ca 10 m) bør få sammenfallende numre.

4.3.2 Fastmerkenes tetthet og plassering

Generelt skal fastmerkenettet ha tilstrekkelig antall fastmerker langs og omkring linjen for å dekke ulike behov for fastmerker over tid. Fastmerkene skal ha en tetthet og plassering som i første rekke er tjenlig for de som etablerer, kontrollerer og vedlikeholder sporets trasé. Samtidig skal fastmerkene være til minst mulig sjenanse og plasseres slik at de ikke forringes under bygge- og vedlikeholdsarbeider. Tabell 13.6 viser anbefalt tetthet og plassering av fastmerkene.

Tabell 13.6 Anbefalt tetthet og plassering av fastmerker

Kvalitets-klasse	Sikringspunkt		Nivellementspunkt		Brukspunkt	
	Avstand fra spor	Gjensidig avstand	Avstand fra spor	Gjensidig avstand	Avstand fra spor	Gjensidig avstand
A + B1	4 - 100 m	400 - 600 m	4-100 m	400-600 m	4 - 50 m	75 - 125 m
A + B2	4 - 100 m	800 - 1200 m	4-100 m	400-600 m	4 - 50 m	100 - 200 m
A + B3	4 - 100 m	1500 - 2000 m	4-100 m	400-600 m	4 - 50 m	150 - 250 m

Den gjensidige avstanden mellom fastmerker av samme kategori skal tilstrebes mest mulig jevn for å oppnå homogen geodetisk kvalitet i fastmerkenettet.

Sikringspunktene skal plasseres slik at det kan utføres satellittobservasjoner for tilknytning til nasjonalt geodetisk grunnlag.

Nivellementspunktene skal plasseres slik at de er lett tilgjengelig med presisjonsnivellementutstyr. På strekninger der det er planlagt / etablert sikringspunkter, bør nye nivelleringspunkter etableres i nærhet av disse.

Brukspunktene bør søkes plassert annen hver gang på hhv. høyre og venstre side av sporet. I krappe kurver bør de imidlertid plasseres på yttersiden. Videre skal brukspunktene gis en plassering som minimum sikrer gjensidig sikt til foregående og etterfølgende fastmerke. Det bør ikke være mer enn 10 brukspunkter mellom to etterfølgende sikringspunkter.

Fastmerkene skal søkes plassert på jernbanens grunn. Dette gjelder spesielt brukspunkter i alle kvalitetsklasser (for å sikre lett tilgjengelighet fra sporet), men også sikringspunkter som etableres som søyler (for å unngå søyler på annen manns grunn).

Ved plassering av fastmerker må det tas hensyn til at målepersonell og måleutstyr ikke kommer nærmere kjøreledningen enn tillatt i gjeldene regler for el-sikkerhet.

Fastmerkenettet kan gis en annen utforming enn det som er beskrevet over, f.eks. i lange tunneler. Likevel skal det sikres at de geodetiske kvalitetskravene i avsn. 4.4.2 tilfredsstilles. Dette bør gjøres ved geodetiske simuleringer.

4.4 Geodetiske krav

4.4.1 Geodetisk referanse

Det geodetiske referansesystemet som brukes for fastmerkenettet skal være tjenelig for regional og nasjonal bruk. Dessuten må det tas hensyn til at fastmerkenettet skal kunne kobles entydig og effektivt til sentrale globale referansesystemer.

4.4.1.1 Horisontalt datum og kartprojeksjon

En av følgende to kombinasjoner av datum og kartprojeksjon skal benyttes:

- EUREF89 / UTM
- Norsk datum / modifisert Gauss-Krüger (også kalt *system NGO 1948*)

EUREF89/UTM bør benyttes, da overordnet fastmerkenett i system NGO 1948 i stor grad er beheftet med tildels store deformasjoner. Lokale systemer skal ikke benyttes.

4.4.1.2 Vertikalt datum/høydesystem

Følgende vertikale datum/høydesystem skal benyttes:

NN 1954 (Normalnull 1954)

Det tidligere NNN 1957 (Nord-norsk null 1957) er fra 1. januar 1996 innlemmet i NN 1954 og skal ikke lenger benyttes som vertikalt datum. Lokale systemer skal ikke benyttes.

4.4.2 Geodetisk kvalitet

4.4.2.1 Grunnriss

Som mål for geodetisk kvalitet i grunnriss brukes *vinkelfeil* og *målestokkdifferanser* mellom tre fastmerker, nærmere definert under:

- Sikringspunkt:
  aktuelt sikringspunkt (interessepunkt) og to vilkårlige fastmerker
- Brukspunkt (både a og b):
  a) aktuelt brukspunkt (interessepunkt) og foregående + etterfølgende fastmerker
  b) aktuelt brukspunkt (interessepunkt) og foregående + etterfølgende sikringspunkter

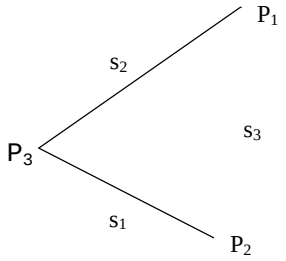
To feilkilder er tatt i betraktning:

k - punktrelatert feil (sentreringsfeil mm)
p - avstandsrelatert feil (konstant for alle vinkler og målestokkdifferanser)

For to linjer s_1 og s_2 mellom et punkt (P_3), også kalt interessepunkt, og to vilkårlig andre punkter (P_1 og P_2) med innbyrdes avstand s_3, blir grenseverdien Δ for vinkelfeil og målestokkdifferanse i P_3 beregnet etter denne formelen:

$$\Delta = \sqrt{p^2 + \frac{s_1^{\,2} + s_2^{\,2} + s_3^{\,2}}{s_1^{\,2} \cdot s_2^{\,2}} \cdot k^2} \quad (13.1)$$

der Δ = grenseverdi i ppm
k = punktrelatert feil i mm
p = avstandsrelatert feil i ppm
s_1, s_2, s_3 = sidelengder i km



Verdiene for k og p velges ut fra kravet som stilles til nettet, vist i tabell 13.7.

Tabell 13.7 Krav til geodetisk kvalitet i grunnriss

Kvalitets-klasse	Geodetisk kvalitet i grunnriss	
	p (ppm)	k (mm)
A	10	10
B1	0	5
B2	0	10
B3	0	15

Nivellementspunkter skal normalt ikke kvalitetstestes i grunnriss.

Kravene gjelder også om det ikke er målt mellom punktene. Grenseverdien vil variere fra interessepunkt til interessepunkt og mellom ulike par av sider. Kravene gjelder øvre grense for feil og ikke middelfeil.

4.4.2.2 Høyde

Som mål for geodetisk kvalitet i høyde brukes *feil i høydeforskjell* mellom to fastmerker, nærmere definert under:

- Sikrings- / nivellementspunkt:
  aktuelt sikrings- / nivellementspunkt (interessepunkt) og ett vilkårlige fastmerke
- Brukspunkt (både a og b):
  a) aktuelt brukspunkt (interessepunkt) og foregående / etterfølgende fastmerke
  b) aktuelt brukspunkt (interessepunkt) og foregående / etterfølgende sikringspunkt

To feilkilder tatt i betraktning:

k - punktrelatert feil (feil i instrument/antennehøyde mm)
p - avstandsrelatert feil (multipliseres med skråavstander mellom punktene)

For en skrålinje l mellom to punkt (P_1 og P_2) blir grenseverdien Δ for feil i høydeforskjell mellom punktene beregnet etter følgende formel:

$$\Delta = \sqrt{p^2 + \frac{2k^2}{l^2}} \qquad (13.2)$$

der Δ = grenseverdi i ppm
k = punktrelatert feil i mm
p = avstandsrelatert feil i ppm
l = skråmålt avstand i km

Verdiene for k og p velges ut fra kravet til nettet, vist i tabell 13.8.

Tabell 13.8 Krav til geodetisk kvalitet i høyde

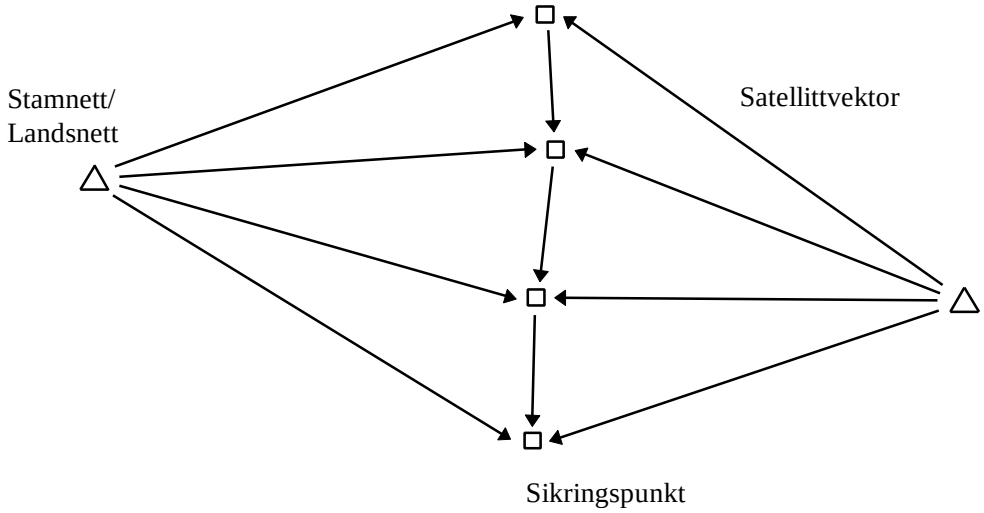
Kvalitets-klasse	Geodetisk kvalitet i høyde	
	p (ppm)	k (mm)
A	5	5
B1	0	3
B2	0	5
B3	0	10

Kravene gjelde også om det ikke er målt mellom punktene eller målt via omveier, for eksempel ved nivellement. Grenseverdien vil variere fra punktpar til punktpar, og skal gjelde som øvre grense, ikke middelfeil.

4.4.3 Målinger

4.4.3.1 Sikringspunkt

Sikringspunktene skal koordinatbestemmes i grunnriss med satellittobservasjoner (GPS, GLONASS eller tilsvarende) og i høyde med presisjonsnivellement.
I grunnriss skal hvert sikringspunkt knyttes direkte til minimum to fastmerker i nasjonalt geodetisk grunnlag. Som hovedregel skal tilknytningen gjøres til Stamnett/Landsnett, men dersom spesielle praktiske forhold tilsier det, kan gammelt nasjonalt geodetisk horisontalt grunnlag (1.-4. orden) benyttes. Videre skal hvert sikringspunkt knyttes direkte til foregående og etterfølgende sikringspunkt. Ytterligere målinger skal gjennomføres dersom det er nødvendig for å tilfredsstille kvalitetskravene i avsn. 4.4.2.



Figur 13.5 Målekonfigurasjon for sikringspunkter (grunnriss)

I høyde skal hvert sikringspunkt knyttes til minimum to fastmerker i nasjonalt geodetisk grunnlag og/eller Jernbaneverkets egne nivellementspunkter.

4.4.3.2 Nivellementspunkter

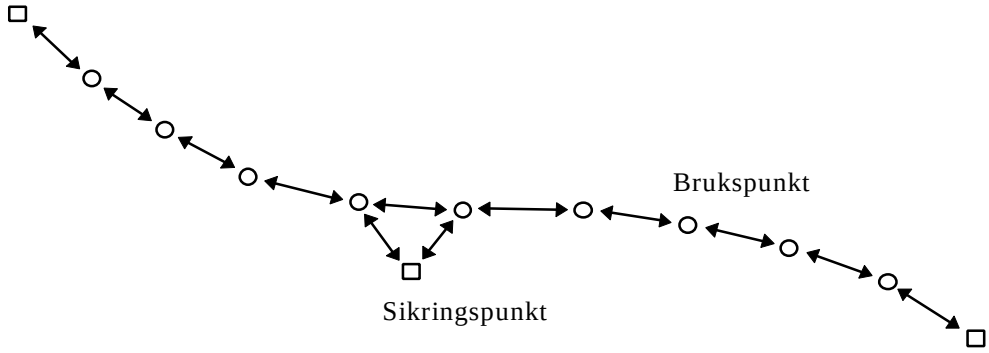
Nivellementspunkter skal koordinatbestemmes i høyde med uavhengig dobbelmålt presisjonsnivellement. Som grunnlag benyttes Statens kartverks nivellementspunkter, evt. Jernbaneverkets egne nivellementspunkter.

Nivellementspunkter bør også koordinatbestemmes i grunnriss, f.eks ved polar innmåling fra sikrings- eller brukspunkter.

4.4.3.3 Brukspunkt

Brukspunktene skal koordinatbestemmes i både grunnriss og høyde med utgangspunkt i sikringspunktene. Målingene bør utføres som uavhengig dobbelmålt polygondrag.

Andre målemetoder kan benyttes, men de geodetiske kvalitetskravene gitt i avsn. 4.4.2 skal tilfredsstilles. Geodetiske simuleringer vil ofte være nødvendig for å klarlegge nødvendig måleomfang. I lange tunneler uten tilknytning til sikringspunkter vil fagverksmålinger være aktuelt.



Figur 13.6 Målekonfigurasjon for brukspunkter

4.4.4 Beregninger

Beregning starter med sikrings- og nivellementspunktene, da brukspunktene beregnes med utgangspunkt i sikringspunktene.

Feilsøking i observasjonsmaterialet skal utføres. Kassering av målinger tillates bare etter fri utjamning og suksessivt etter statistisk test. Kassering etter største utjamningskorreksjon er ikke akseptabel metode.

Test av grunnlaget skal utføres hvis det ikke er av overlegen kvalitet eller testet tidligere. Vanlig måte er å sammenligne feilkvadratsummen fra fri og tvungen utjamning. Er det få eller ingen overbestemmelser ved fri utjamning kan det testes mot antatt middelfeil, forutsatt at denne er godt kjent og kan dokumenteres. Slår testen ut må grunnlagspunkter forsøksvis fristilles, evt. tilleggsukjente innføres, inntil testen passeres. Gamle koordinatverdier skal likevel beholdes med mindre endringene innebærer en signifikant forbedring. Tilleggsukjente skal kun innføres hvis disse er signifikante.

Analyse av fastmerkenettets geodetiske kvalitet skal utføres. Nøyaktighetsangivelse ved punktmiddelfeil o.l. er ikke tilstrekkelig. Kvalitetsanalysen må ta hensyn til at målingene kan inneholde grove feil av varierende størrelse avhengig av hvor godt målingene kontrollerer hverandre i nettet. Mulig deformasjon som følge av skjulte feil beregnes, sammenholdes med kravene i avsn. 4.4.2 og dokumenteres.

Til slutt kan endelig beregning av koordinater og evt. tilleggsukjente foretas.