

Trondheim 02.05.12



Utbygging av dobbeltsporet jernbane

Vestfoldbanen parsell 12.2 Telemarkgrense
- Porsgrunn

Utarbeidet av: Railway Solutions

Eivind Berget, Øyvind Aspås, Kristian Thinn Solheim, Janne-Lise Hegstad og
Inger-Marie Torstvedt



Forord

Denne rapporten omhandler den faglige delen av faget TET 4851 Eksperter i Team – Jernbanen – Et transportsystem i utvikling, som er et obligatorisk fag for alle som går høyere grads utdanning ved NTNU. Railway Solutions er et tverrfaglig team bestående av Kristian Thinn Solheim, Janne-Lise Hegstad, Øyvind Aspås, Eivind Berget og Inger-Marie Torstvedt.

Problemeier for landsbyen har vært Jernbaneverket, og vår kontaktperson var Johan Anton Wikander. Han har gjennom hele arbeidsprosessen vært svært hjelpsom med både oversendelse av dokumenter og kontaktinformasjon til ulike sakkyndige i jernbaneverket. Vi vil derfor rette en stor takk til han.



Sammendrag

Utbygging av dobbeltsporet jernbane er svært nødvendig i utviklingen av en effektiv jernbane og Vestfoldbanen er den første av tre strekninger i Intercity-triangelet hvor utbyggingen allerede har startet. Parsell 12 er den siste parsellen på Vestfoldbanen og strekker seg fra Farriseidet og til Porsgrunn. Byggingen av denne parsellen har planlagt start høsten 2012 med ferdigstilling i 2018.

Rapporten inneholder tekniske krav og spesifikasjoner for utbygging av dobbeltspor på parsell 12.2, Farriseidet - Porsgrunn. I tillegg legges det vekt på utbyggingen av Storberget tunnel som skal bygges mellom Ønna og Herregårdsbekken.

Valg av trase er en krevende oppgave og mange viktige valg må tas. Det er mange faktorer som spiller inn og oppsummert kan man si at traseen skal legges slik at den er mest mulig hensiktsmessig for samfunnet. Tilpassing av ny trase må gjøres innenfor de rammer som er gitt. Eksisterende stasjoner sin plassering, topografi og gjeldene reguleringsplaner gjør traseutformingen utfordrende med de krav til kurvatur som følger på grunn av tilpasningen til høy hastighet. Under prosjekteringen er det da viktig å skaffe seg god oversikt over området, spesielt gjelder dette for tunnelene. Ingeniørgeologiske undersøkelser skal avklare gjennomførbarhet, aktuelle alternativer og totalkostnader og byggetid. Undersøkelser i form av feltkartlegging, refraksjonsseismikk, kjerneboringer og prøver av bergmassen gir grunnlaget for endelig plassering.

De fleste tunnelene langs strekningen Larvik-Porsgrunn vil utbygges i bergarten Larvikitt, mens unntaket er Eidanger tunnel som må bygges i sedimentære bergarter. Kartlegging av bergmassekvalitet viser i stor grad gode bergforhold i Larvikitt, mens det i de sedimentære bergartene er dårligere bergmassekvalitet. Følgelig ventes det derfor størst utfordringer med tanke på driving og stabilitet her.

Vann har en ødeleggende virkning på tunnel og må ledes ut på en sikker måte. Dreneringen av vannet inne i Storberget tunnel utformes som lukket drengroft. Selve drengroret består enten av PVC eller betong. I tillegg må det også prosjekteres gode løsninger som tar høyde for brannsikkerheten i en tunnel. I Storberget tunnel skal det være sprøytebetong inne i selve tunnelen og betong i tunnelportalene. Betong er det konstruksjonsmateriale som er best egnet til å beholde sin styrke under en brannlast og er derfor et sikkert materiale å benytte med hensyn på brannbelastning. Andre tiltak i tunnelen med tanke på brannsikkerhet er brannvifter og rømnings tunneler.

For parsell 12 er dimensjonerende hastighet 250 km/h og overbygningsklasse d ligger derfor til grunn for dimensjonering av sporkonstruksjonen. Ut i fra Jernbaneverkets tekniske regelverk velges skinneprofil 60E1 (UIC60) og svilleavstand 600 mm for den valgte overbygningsklasse. For det valgte skinneprofilet og den gitte overbygningsklasse velges det Betongsviller NSB 95 og Pandrol Fastclip til befestigelse. I tillegg skal sporkonstruksjonen bestå av sporvekslere med radius $R = 1200\text{mm}$ og stigning 1:18,4, og dimensjoneres med ballast.

Banestrømsystemet som vil bli brukt på strekningen er et AT-system. Noen av fordelene sammenlignet med det tradisjonelle systemet er at impedansen blir redusert med omlag en tredjedel, noe som forbedrer spenningen, det er mindre behov for omformerstasjoner, det blir

bygget slik at man kan utføre vedlikehold med spenning koblet til, samt det vil være billigere enn oppgradering av det gamle systemet.

For høyspentkabler i tunnel er det anbefalt å plassere disse i betongkanaler på siden av sporene. Ved å plassere disse her får man en mekanisk tilleggsbarriere i forhold til ytre skader på kablene ved normalt vintervedlikehold. Forlegning i kanal vil også ha en bedre sikkerhet mot nedsmussing av kablene, med mulig varmegang som konsekvens.

På strekningen skal det bygges FATC (Fullstendig automatisk togkontroll), og dette kan kontrollere automatisk togstopp og hastighetsovervåking til enhver tid. Inne i Storberget tunnel vil sikringsanlegget bli festet på veggene i tunnelen for å unngå konflikter mellom master og rømningsveier. Alle kabelkanaler skal bygges i betong på begge sider av banen for å gi god beskyttelse. Teleanlegget vil bestå av telefon, blokktelefon, nødtelefon, radio og transmisjonsanlegg. Alle anlegg skal forsynes fra Porsgrunn stasjon og samtlige systemer vil bli distribuert via fiber. Nødsambandet på 160MHz benytter strålekoaksialkabel, mens togradio og vedlikeholdsradio benytter antenner. Lavspenningsanleggene skal dekke nøddlys, sporvekselvarme, sporvekselbelysning, reservestrøm og strømforsyning.

For de kommende 10-årene viser prognoser stor vekst i folketallet i det sentrale østlandsområdet. Utbygging av Intercity vil være viktig for å svare på et økende transportbehov innen person- og godstransporten. Intercity utbyggingen vil gi en sammenhengende «2-millionersby» som vil ha positive ringvirkninger på bo - og arbeidsmarkedene som legger til rette for by - og regionsutvikling.

Den nye Vestfoldbanen vil gi økt kapasitet, flere avganger, kortere reisetid og gi en mer pålitelig og punktlig jernbane. Dette resulterer i en økning i antall reisende til 9,5millioner, hvor spesielt pendlere vil få betydelige bedre reisemulighet. Bedre tilrettelegging for godstransport gjør at gods kan fraktes med jernbanen slik at veinettet avlastes og tungtransporten langs E18 reduseres. Miljømessig vil utbygging av Vestfoldbanen gi en reduksjon av utslipp av Co₂ på rundt 15000 tonn per år, på grunn av overføring av reisende og gods fra vei til bane.

Figurer

Figur 1 InterCity – triangelet [2].....	10
Figur 2 Ferdig modernisert dobbeltsporet bane nord for Sande	11
Figur 3 Ny jernbanestrekning mellom Larvik og Porsgrunn [7].....	12
Figur 4 Illustrasjon hvor ny jernbane kommer ut av Eidanger tunnel, og fortsetter videre inn mot Porsgrunn [3].....	13
Figur 5 Normalprofil, hovedelementer ved jernbanen [11]	14
Figur 6 Sammenheng mellom svakhetssoners forløp og form [17 - Figur 3.8].....	17
Figur 7 Tolkning av refraksjonsseismikk [17 - Figur 7.9]	17
Figur 8 Opp til venstre: Flybilde av området Opp til høyre: Geologisk kart over området Nede: Geologisk profil av tunnelen [14]	19
Figur 9 Plassering av tunneltrasé [14]	19
Figur 10 Berggrunnskart fra NGU [15]	20
Figur 11 60E1-Pandrol Fastclip - NSB 95. Øverst til venstre: Vertikalsnitt. Øverst til høyre: Vertikalsnitt side. Nederst: Horisontalsnitt ovenfra [23].....	23
Figur 12 Enkel veksler [24].....	24
Figur 13 Ballast for dobbeltspor [25].....	25
Figur 14 - Systemoversikt for banestrømforsyning [11]	27
Figur 15 - Prinsipp for AT-system [32].....	28
Figur 16 Parallellkobling av AT-system [33].....	29
Figur 17 Strømmer i svensk AT-system [36]	31
Figur 18 Autotransformator [37]	31
Figur 19 Sporfelt, linjeblokk og blokkpost [11].....	32
Figur 20 Automatisk togkontroll [11]	33
Figur 21 Samband [11].....	34
Figur 22 GSM – R [39].....	35
Figur 23 Perspektiv av Langangen bru [4].....	36
Figur 24 Oppriss og tverrsnitt av Langangen bru [4]	37
Figur 25 Viser tre drivmetoder for løøsning med TBM.	40
Figur 26 Temperatur mot tid for betongkonstruksjoner [49]	42
Figur 27 Typisk tverrsnitt for tunnelportal parsell 12.2 [4].....	42
Figur 28 Forholdet mellom fart og areal [56].....	44
Figur 29 Åpen dreneringsgrøft [59].....	45
Figur 30 Lukket dreneringsgrøft [60].....	46
Figur 31 AT-kabler i tunnel [31].....	47
Figur 32 Steinsprang langs eksisterende linje [68]	52
Figur 33 Snøskred langs eksisterende linje [68]	52
Figur 34 Snøskred ved Sandvikodden, dekket linjen rundt 100-150 meter [70].....	52
Figur 35 Skade på tog, Skien - Lillehammer [69].....	52
Figur 36 Impedans som funksjon av strekning [59]	59

Tabeller

Tabell 1 Vestfoldbanens 3 strekninger [5].....	11
Tabell 2 Ingeniørgeologiske undersøkelses stadier [17 - Tabell 7.1]	15
Tabell 3 Bergmasseklassifisering av tunnelene i parsell 12.2 [15].....	20
Tabell 4 Tillatt hastighet og aksellast for overbygningsklasser [16].....	21
Tabell 5 Kvalitetsklasser [16].....	22
Tabell 6 Sporoverbygning som skal benyttes ved nyanlegg og sporombygging [20].....	23
Tabell 7 Hovedmål for sporveksel med bevegelig skinnekryss [24].....	24
Tabell 8 Planeringsbredder for dobbeltspor med svilltype NSB 95 [25].....	24
Tabell 9 - Viktige forkortelser [26].....	25
Tabell 10 Rams-analyse, valg av tunnelkonsept [45].....	38
Tabell 11 Alternative måter å føre AT-ledere gjennom tunneler og snøoverbygg [35].....	46

Innholdsliste

FORORD	2
SAMMENDRAG	3
FIGURER	5
TABELLER	6
INNLEDNING	9
1 INTERCITY – TRIANGELET	10
1.2 VESTFOLDBANEN OSLO – SKIEN	10
1.2.1 PARSELL 12 LARVIK – PORSGRUNN	11
2 JERNBANEN	14
3 VALG AV TRASÉ	14
3.1.1 PRELIMINÆRE UNDERSØKELSER	16
3.1.2 DETALJUNDERSØKELSER I FELT	16
3.2 BRUK AV FORUNDERSØKELSENE	19
3.2.1 GEOLOGIEN	19
3.2.2 BERGMASSEKVALITET	20
3.2.3 BERGOVERDEKNINGEN FOR TUNNELENE LANGS PARSELL 12.2 [15]	21
4 OVERBYGGING	21
4.1 OVERBYGNINGSKLASSE, SKINNEPROFIL	21
4.2 SVILLER OG BEFESTIGELSE	23
4.3 SPORVEKSLERE	24
4.4 BALLAST	24
5 DET ELEKTRISKE KRAFTSYSTEMET	25
5.1 INTRODUKSJON TIL BANESTRØM	26
5.1.1 HISTORIEN BAK FREKVENNS- OG SPENNINGSVÅLGET I DEN NORSKE JERNBANEN	26
5.1.2 ENERGIBRUK.....	26
5.1.3 FREMDRIFT	27
5.2 HVA MÅ GJØRES FOR Å TILPASSE SEG FREMTIDEN MED DOBBELTSPOR	27
5.3 DETALJERT BESKRIVELSE AV AT-SYSTEM PÅ DOBBELTSPOR	28
5.3.1 PARALLELLKOBLET AT-SYSTEM	29
5.3.2 ADSKILT AT-SYSTEM FOR HVERT SPOR	29
5.3.3 ANBEFALT LØSNING FOR AT-SYSTEM	30
5.4 FOR SPESIELT INTERESSERTE	30
5.4.1 STRØMMER I AT-SYSTEMET.....	30
5.4.2 AUTOTRANSFORMATOR.....	31
6 SIGNAL – OG TELEANLEGG	31
6.1 SIGNALANLEGG	32
6.1.1 SIKRINGSANLEGG	32
6.1.2 AUTOMATISK TOGKONTROLL.....	32
6.1.3 FJERNSTYRING	33
6.2 TELEANLEGG	34

7 BRUKONSTRUKSJONER	36
8 TUNNELKONSTRUKSJONER	37
8.1 UTFORMING	37
8.2 DRIVMETODE	39
8.3 RØMNINGSVEIER.....	40
8.4 BRANNSIKRING	41
8.5 BRANNVENTILASJON.....	43
8.6 VINDKREFTER	43
8.7 VANNAVRENNING.....	45
8.8 BANESTRØM.....	46
8.9 TRANSMISJONS- TELE- OG LAVSPENNINGSANLEGG	48
9 SAMFUNNSNYTTEN VED UTBYGGING AV DOBBELTSPOR.....	51
10 KONKLUSJON	53
KILDER.....	54
VEDLEGG	59

Innledning

Med utgangspunkt i fagretningene energi og miljø, elektronikk, teknisk geofag og konstruksjonsteknikk skulle gruppen utforme et tema som omhandlet alle de ulike fagbakgrunnene. Etter et lærerikt seminar i Stjørdal satt gruppen igjen med det inntrykket at utbygging av dobbeltspor er svært viktig i utviklingen av en effektiv jernbane i Norge, samtidig som det også er et meget dags aktuelt tema. Landsbyleder var klar på at grupped medlemmenes fagbakgrunn måtte være representert i det valgte tema og at det ble lagt mer vekt på dette i år enn det hadde vært tidligere år. Dermed havnet valg av tema for prosjektet til slutt på; Utbygging av dobbeltsporet jernbane. Her skulle vi ta for oss hvordan man bygger ut en dobbeltsporet jernbane, og også se spesielt på hvilke krav som kreves ved utbygging av tunnel.

I rapporten ble det bestemt at Vestfoldbanen skulle brukes som eksempel. Vestfoldbanen er inndelt i tre strekninger hvor den siste er parsell 12 Farriseidet – Porsgrunn. Parsell 12 er igjen inndelt i to prosjekter; parsell 12.1 og parsell 12.2. Siden det er utarbeidet separate planer for parsellene valgte gruppen å bruke parsell 12.2 (Telemarkgrense– Porsgrunn) som hovedeksempel, og i tillegg ha fokus på Storberget tunnel.

Til grunn for de tekniske kravene som stilles ved utbygging av jernbane ligger Jernbaneverkets tekniske regelverk, og gruppen har dermed brukt disse som grunnlag i rapporten. I tillegg er dimensjoneringen i stor grad basert på hovedplaner og diverse reguleringsplaner for den aktuelle strekningen. På de områder det ikke fantes dokumentasjon valgte gruppen å gi en anbefaling av hva som burde gjøres.

Hovedmålet for rapporten ble dermed å gi en innføring i hvordan man bygger dobbeltsporet jernbane innenfor de fagfeltene som var representert i gruppen, og i tillegg vurdere hvilken samfunnsnytte en slik utbygging vil ha. Vår rapport vil derfor sannsynligvis ikke gi de sakkyndige innen jernbanen økt kunnskap om utbygging av dobbeltspor, men til gjengjeld være veldig lærerik for både vår gruppe og andre som søker kunnskap om dette temaet.

Vestfoldbanen er en av de mest trafikkerte jernbanestrekningene i Norge [6]. Sprengt kapasitet og modernisering av E18 gjennom Vestfold gir toget konkurranse og fører til at behovet for en modernisering av Vestfoldbanen er svært stort. Jernbaneverket har derfor siden 1993 arbeidet med en modernisering av Vestfoldbanen og dette skulle bety kortere reisetid, færre forsinkelse, flere togavganger og bedret sikkerhet. I løpet av årene fra 1995 og frem til i dag er det



bygget ca. 23 km dobbeltsporet jernbane i Vestfold [3], se

Figur 2 Ferdig modernisert dobbeltsporet bane nord for Sande i Vestfold [3]

Figur 2, og det arbeides videre med utbygging av det komplette dobbeltsporede jernbanenettet slik at det overordnede målet fra reguleringsplanene skal oppfylles i høyest mulig grad [4]:

”Det overordnede målet er å utvikle en effektiv og konkurransedyktig jernbane med kortere reisetider, tilfredsstillende frekvens, høy grad av punktlighet, bedre sikkerhet og miljøvennlighet.”

I den nye IC-strategien er Vestfoldsbanen delt inn i tre parseller, og i Tabell 1 finnes en oversikt over byggestart og vurdert ferdigstilling for parsellene. Strekningen mellom Barkåker og Tønsberg hadde den tidligste byggestarten, i 2009, mens strekningen Farriseidet til Porsgrunn har planlagt byggestart høsten 2012.

Tabell 1 Vestfoldbanens 3 strekninger [5]

Strekning	Byggestart	Ferdigstilling
Berkåker – Tønsberg	2009	2011
Holm – Nykirke	2010	2015
Farriseidet - Porsgrunn	2012	2018

Ved fullstendig utbygd dobbeltsporet jernbane mellom Oslo og Skien, vil reisetiden mellom Oslo og Tønsberg reduseres fra 1,5 timer til 1 time, og den totale reisetiden fra Oslo til Skien vil reduseres med 1 time [3].

1.2.1 Parsell 12 Larvik – Porsgrunn

I dag er parsellen mellom Farriseidet og Porsgrunn 35,5 km lang [6]. Banen går nordover langs Farrisvannet og passerer Kjøse og Oklungen før den går sørover gjennom Bjørkedalen til Eidanger. Dagens jernbanestrekning er preget av sidebratt terreng med store fyllinger og bratte skjæringer. Dette gjør at togene blir nødt til å holde lav hastighet, og i tillegg er flere togavganger på grunn av dårlig kvalitet på jernbanen blitt erstattet med busser [7].

For å forbedre dagens jernbanekvalitet langs strekningen Farriseidet til Porsgrunn planlegger derfor Jernbaneverket å bygge 23,5 km ny jernbane, se rød stiplet linje i Figur 3. Strekningen skal utføres sammenhengende uten planoverganger, og ved nedleggelse av dagens over 30 overgangene skal

dette være med på å redusere antall ulykker tilknyttet tog. Det blir heller ingen av- og påstigning mellom stasjonene i Larvik og Porsgrunn. Selve strekningen skal bestå av syv tunneler på totalt 14,5 km, og fem bruer, og ved utbygging av den nye traseen vil reisetiden reduseres fra 34 minutter til 12 minutter [7].



Figur 3 Ny jernbanestrekning mellom Larvik og Porsgrunn [7]

Som et ledd i moderniseringen har det blitt utarbeidet parsellvise hovedplaner og kommunedelplaner [6]. Parsell 12 strekker seg over to kommuner og det kreves derfor to reguleringsplaner. Av denne grunn organiseres parsell 12 i to delprosjekter, 12.1 Larvik og 12.2 Porsgrunn. Strekning 12.1 defineres fra Farriseidet til fylkesgrensen mot Telemark, mens 12.2 strekker seg fra grensen til ca. 500 meter før Porsgrunn stasjon[4].

Gjennom vedtak av kommunedelplanen for Parsell 12 Farriseidet – Porsgrunn fra 1996 ble valgt av trasé for den enkeltsporede banen tatt hvor denne planen var basert på en konsekvensutredning som ble gjort i 1994. Med utgangspunkt i kommunedelplanen utarbeidet Jernbaneverket i 1999 en endelig hovedplan som ga føringer for resten av planprosessen. I 2002 ble reguleringsplanen for enkeltsporet høyhastighetsbane for parsell 12.2 (Telemark grense – Porsgrunn) vedtatt, og denne var tilnærmet lik både hovedplan og kommunedelplan. Derimot ble reguleringsplanen for enkeltsporet jernbane for parsell 12.1 ble ikke vedtatt før i 2009 [4].

I forbindelse med arbeidet av Nasjonal Transportplan 2010-2019, hvor nye utredninger for høyhastighetstog ble gjort, ba samferdselsdepartementet Jernbaneverket om å gjøre en vurdering om det ville være mer hensiktsmessig å bygge hele eller deler av parsell 12 (Farriseidet-Porsgrunn) som dobbeltspor. Jernbaneverkets konklusjon ble at parsellen er viktig for en fremtidig sammenkobling med Sørlandsbanen i tillegg til den fremtidige utviklingen av høyhastighetsbane. I den videre planleggingen av parsell 12 ble dermed bygging av dobbeltspor dimensjonert for hastighet opp til 250 km/t lagt til grunn [8]. Nye reguleringsplaner for de to parsellene, 12.1 og 12.2 ble derfor i 2010 lagt frem, hvor begge planene i stor grad bygger på de tidligere reguleringsplanene for enkeltspor. I 2012 ble det etter offentlig ettersyn av reguleringsplanen av parsell 12.2 fra 2010 lagt ut en revidert reguleringsplan for denne parsellen [4].

Et dobbeltspor vil i forhold til enkeltspor ha flere fortrinn [8]:

- 1) God fleksibilitet i forhold til rutetabeller
- 2) Robusthet ved framtidig trafikkøkning som kan være forårsaket av:
 - Sammenkobling med Sørlandsbanen
 - Hyppigere togavganger
 - Økt godtrafikk (svært lite på banen i dag)

Videre anbefales utbygging av dobbeltspor spesielt fordi trinnvis utbygging er langt dyrere og fordi strekningen tilfredstiller kravene for høyhastighet (250km/t).

Parsell 12.1 skal begynne ca. 1,2 km vest for Larvik stasjon, og går raskt inn i Martineåsen tunnel som er 3,7 km lang før den ved Paulertjønn kommer ut i dagen. Videre fortsetter banen på en 330m lang bru over Paulertjønn, og deretter vestover hvor den med en 426 meter lang bru krysser Hallevannet. Banen fortsetter mot Hobæk og krysser her eksisterende E18 på ny bru. Banen må deretter gjennom to små tunneler Askeklova og Hovås på henholdsvis 90m og 170m før Solum, og passerer videre eksisterende E18 sør for Solum [9].

Parsell 12.2 starter ved Skillingsmyr dagsone (Larvik kommune) og fortsetter inn i Skillingsmyr tunnel på 3,9 km og krysser her fylkesgrensa. Videre følger banen over den 62 meter lange Gunnarsrød bru som ligger rundt 100 meter nord for Gunnarsrød gård. Rett etter Gunnarsrød bru går banen inn i Ønnsåsen tunnel på kun 600 meter, og kommer ut i en kort dagsone ved Langangen på ca. 400 meter, hvor Langangen bru er 220 meter av disse [4].



Figur 4 Illustrasjon hvor ny jernbane kommer ut av Eidanger tunnel, og fortsetter videre inn mot Porsgrunn [3]

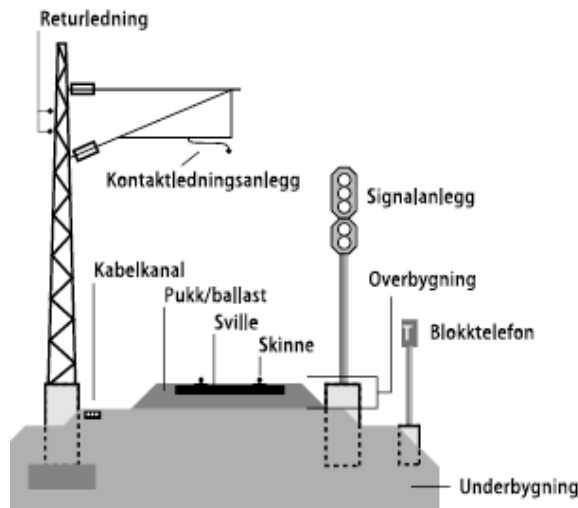
Banen går deretter rett inn i Storberget tunnel som har en lengde på 4,6 km og er med det den lengste av de syv tunnelene mellom Larvik og Porsgrunn. Tunnelen munner ut ved Herregårdsbekken og krysser bekken med en liten bru og fortsetter inn i den 2,1 km lange Eidanger tunnel. Tunnelen kommer ut ved et av grustakene til Norcem, og det nye dobbeltsporet kobler seg til eksisterende spor, og går over til enkeltspor etter rundt 300 meter hvor parsellen slutter ca 500 meter før man ankommer Porsgrunn stasjon [4]. Figur 4 illustrerer den nye jernbanetraseen fra utgangen av Eidanger tunnel og videre mot Porsgrunn. Illustrasjonen er utført av Sweco.

I november 2011 uttalte samferdselsministeren Magnild Meltveit Kleppa på en pressekonferanse at det vil settes av 100 millioner kroner slik at byggingen av jernbanen mellom Larvik og Porsgrunn kan starte høsten 2012 [10].

2 Jernbanen

Jernbanen består i hovedsak av fem hovedelementer og Figur 5 viser en skisse av disse [11]:

- Underbygging: Sørger for at sporet ligger stabilt
- Overbygging: Sikrer at krav til aksellast/ballast, sikkerhet, komfort og hastighet overholdes
- Teleanlegg: Sørger for nødvendig samband
- Strømforsyningsanlegg: Kontinuerlig overføring av elektrisk energi til togene sikres ved kontaktledningsanlegget
- Signalanlegg: Sikrer trygg, rask og punktlig jernbane



Figur 5 Normalprofil, hovedelementer ved jernbanen [11]

derfor Jernbaneverkets tekniske regelverk et svært viktig hjelpemiddel for de ulike fagområdene innen jernbaneteknikk. De ulike fagområdene i teknisk regelverk defineres som følgende: Felles elektro, Skilt, Overbygging, Underbygging, Bruer, Kontaktledning, Lavspenning, Banestrømforsyning, Signal, Tele og Rullende materiell [12].

I tillegg til den tekniske dimensjoneringen av jernbanen er også det geologiske aspektet svært viktig. Forundersøkelser må utføres for å kartlegge området slik at man får mest mulig oversikt og kunnskap om byggegrunnen. Dette er spesielt viktig med tanke på å velge den mest hensiktsmessige trasé.

3 Valg av trasé

Valg av trasé er en krevende oppgave og mange viktige valg må tas. Det er flere faktorer som spiller inn på det endelige valget, og oppsummert kan man si at traseen skal legges slik at den er mest mulig hensiktsmessig for samfunnet.

En utfordring med plasseringen av traseen er at den må tilpasses de eksisterende stasjonene, eventuelt bygging av nye stasjoner. Med strenge krav til traseens kurvatur på grunn av tilpasningen til høyere fart ved framtidig utbygging vil det være vanskelig å tilpasse traseen til miljøet mellom stasjonene. Her vil topografi, eksisterende stasjoner og reguleringsplaner spille inn slik at man sitter igjen med et begrenset område til traseen. Under prosjektering av ny trasé er det viktig å skaffe seg god oversikt over området man har til rådighet, og dette er spesielt viktig når det gjelder prosjekteringen av tunnelene. De ingeniørgeologiske undersøkelsene er et viktig hjelpemiddel for å oppnå den ønskede oversikten over området man undersøker.

3. 1 Ingeniørgeologiske undersøkelser

De ingeniørgeologiske undersøkelser skal avklare om prosjeketet er gjennomførbart eller ikke, hvilke alternativ som er aktuelle, totalkostnader og byggetid. Undersøkelsene deles ofte i to hovedgrupper; før og etter byggestart, se Tabell 2. For å bygge en trygg og sikker tunnel er det viktig å vite så mye som mulig om byggforholdene før byggestart. For å tilegne seg denne informasjonen må man ut i felt å gjøre undersøkelser. Bergmasseklassifisering er viktig og dette arbeidet må gjøres gjennom hele prosjekt og drivperioden. Gode forundersøkelser er viktig med tanke på riktig valg av tunneltrasé og slik at man kan være forberet på hvilke bergforhold som venter under byggingen. Plasseringen av tunneler er ofte allerede gitt eller man har 2-3 alternativer til tunneltrasé. Valg av trasé vil da være avhengig av bergspenningene og bergforholdene om det lar seg gjennomføre og den totale kostnaden til hvert av alternativene. Rapporter etter ingeniørgeologiske undersøkelser brukes i utarbeiding av anbudsokumenter.

Tabell 2 Ingeniørgeologiske undersøkelses stadier [17 - Tabell 7.1]

Forundersøkelser (Fjellet er ikke åpent)		Etterundersøkelser (Fjellet er åpent)	
PRELIMINÆRE UNDERSØKELSER	DETALJUNDERSØKELSER I FELTEN	DETALJUNDERSØKELSER I ANLEGGET	SLUTTKARTLEGGING
Planlegging på skissestadiet.	Planleggingen fullføres. Anbudsdokumentene klargjøres.	Byggingen påbegynnes og gjennomføres.	Byggingen avsluttes. Anlegget klart til bruk.
Studier av eksisterende litteratur, kart og flybiler.	Ingeniørgeologisk kartlegging basert på flyfotostudier og feltbefaringer.	Supplerende unders. som spenningsmålinger, boring fra tunnel etc.	Registrering av de geologiske forhold i anlegget.
Fremskaffelse av evt. Ingeniørgeologiske og/eller geotekniske rapporter fra området.	Utførelse av spesialunders. som boring, seismikk, spenningsberegninger etc.	Prøvetaking og analyse av sleppemateriale (og evt. bergarter) i lab.	Beskrivelse av alle utførte sikringsarbeider, inkl. tidspunkt og evt. vanskeligheter med utførelsen.
Befaring av nøkkelpunkter (påhugg, liten overdekning, utslag i vann etc.)	Laboratorieanalyser: bergartenes borbarehet, sprengbarhet og anvendbarhet.	Kontroll og revisjon av rapporten fra forundersøkelsene.	Vurdering av driftsresultatene.

<p>Foreløpig rapport:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oversikt over geotekniske og bergtekniske forhold. • Vurdering av mulighetene for å gjennomføre de forskjellige alternativ. • Plan og kostnadsoverslag for detaljundersøkelser • Behov for kart og flybilder. 	<p>Rapport som beskriver de forskjellige geologiske og topografiske forholds innvirkning på byggingen og bruken av anlegget. (Bergartene, oppsprekningen, svakhetssonene, vann – spenningsforholdene).</p> <p>Bruk av massene vurderes.</p>	<p>Revisjonsrapporter.</p> <p>Fastlegging av midlertidige sikringstiltak etter hvert som anleggsarbeidene skrider frem.</p> <p>Utarbeidelse av plan for de permanente sikringstiltak.</p>	<p>Sluttrapport med tunnelkart og oversikt over sikringsarbeider.</p> <p>Vurdering av de utførte ingeniørgeologiske undersøkelser.</p>
--	---	---	--

3.1.1 Preliminære undersøkelser

Undersøkelsene før byggestart deles i to steg; preliminære undersøkelser og detaljundersøkelser i felt. De preliminære undersøkelsene utføres helt i startfasen av prosjektet og bygger på topografiske og geologiske kart fra NGU, flybildetolkning, tolkning av eksisterende opplysninger av tidligere prosjekter og korte feltundersøkelser av nøkkelpunkter som påhugg (der tunnelen går inn i fjellet) og markerte svakhetssoner (sone med sterk oppknusing eller omvandlet bergarter). Disse undersøkelsene er med på å gi en god oversikt over bergarter, svakhetssoner og topografi. Kritiske områder med mange og lite hensiktsmessig orienterte svakhetssoner kan da plukkes ut da de reduserer gjennomførbarheten, både på grunn av stabilitet og kostnader. Dette er faktorer for reduisering av antall alternativer som er aktuelle, slik at man sitter igjen med et alternativ eller et område som er aktuelt. Arbeidet bør avsluttes med en rapport som omhandler geologiske forhold og det lages også en oversikt over detaljundersøkelsene som må gjøres og kostnadsplan for disse. Disse undersøkelsene skal gi mest mulig relevant informasjon om de geologiske forholdene.

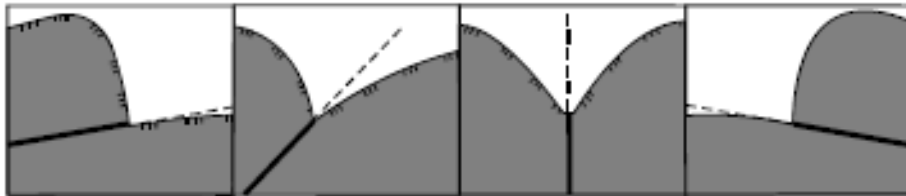
3.1.2 Detaljundersøkelser i felt

På grunnlag av de preliminære undersøkelsene vil byggherren avgjøre hvilket område som er mest aktuelt og deretter starte planlegging og prosjektering av tunnelen(e). Hovedmålet med detaljundersøkelsene er å lage geologiske kart med tilhørende profiler av tunneltraseen. I tillegg skal det tas representative prøver av bergarter og sleppematerialer. Etter at det aktuelle området er valgt vil det neste steget være detaljundersøkelser av flyfoto og i felt. Det arbeides da med å anskaffe mer informasjon over området og flyfotografering i hensiktsmessig målestokk.

Ut i fra flyfotostudie vil en kartlegge svakhetssoner og bergartsfordelingen. Bergartsfordelingen sees ofte som fargeforskjeller og høydeforskjeller. Sterke bergarter står bedre i mot erosjon, mens svake bergarter eroderer fortere og dette vil derfor komme fram som høydedrag og søkk i terrenget. Svakhetssoner framtrer som kløfter og relativ dype søkk og på grunn av overdrevet vertikalmålestokk i flyfoto blir disse relativt lett oppdaget.

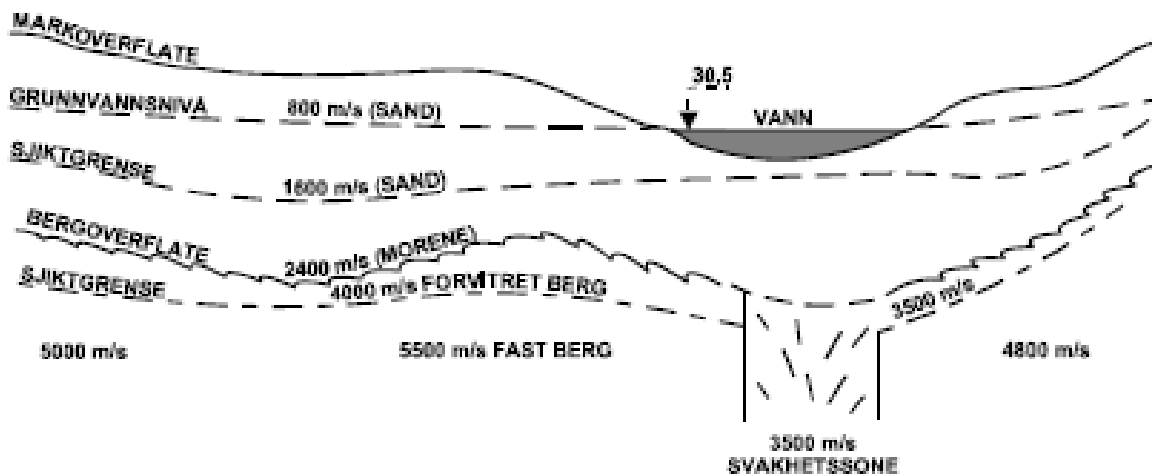
Markante svakhetssoner kan følges over lange strekninger på flyfoto og de kan overføres til topografiske kart i de aller fleste tilfeller. Svakhetssonenes orientering og fall kan da bestemmes, og

orienteringen og fallet til svakhetssonene er viktige med tanke beregning av hvor svakhetssonene krysser i tunnelen. Ved beregning av fallet for svakhetssonen kan man se på et profil av kløften eller beregne fra sonens utgående i dagen. Figur 6 viser forholdet mellom svakhetssoners form og forløp. For utgående må det utføres kontroll i felten for å bestemme kjente punkter for svakhetssonene slik at sonens orientering og fall kan bestemmes.



Figur 6 Sammenheng mellom svakhetssoners forløp og form [17 - Figur 3.8]

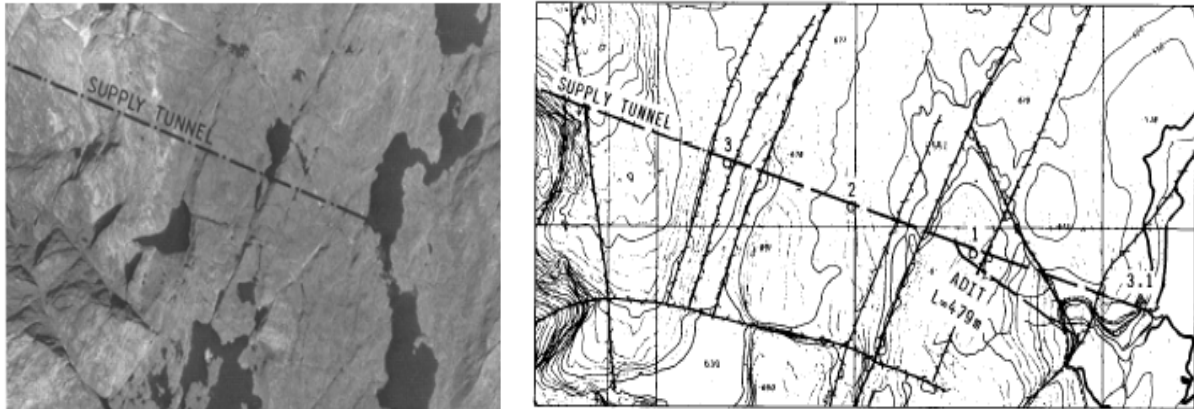
Undersøkelsene i felt består av feltkartlegging og prøvetakning av bergartene. Feltkartleggingen skal bekrefte hvilke bergarter som befinner seg langs traséen. Dette er viktig fordi forskjellige bergarter har stor variasjon i materialparametere. Enkle tester som punktlasttest måler bergartsstyrken og skaffer en oversikt over bergstyrken før man senere tar ut større prøvestykker (10-20 kg) for grundigere analyser av bergartsparementerne. I dette arbeidet er det viktig at det plukkes ut mange nok og representative prøver. Sprekkesystemer i bergartene med vekt på strøk og fall presenteres med stereografisk projeksjonsdiagram eller sprekkerose. Kjerneboring, måling av spenninger,



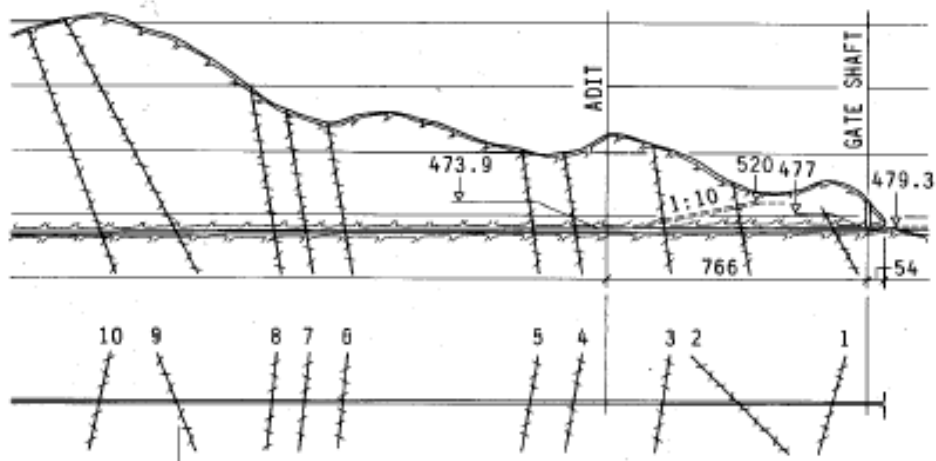
Figur 7 Tolkning av refraksjonsseismikk [17 - Figur 7.9]

refraksjonsseismikk og andre geofysiske målinger er viktige supplement til kartleggingen. Figur 7 viser tolkning av refraksjonsseismikk som gir indikasjon på lagdelingsgrenser. Refraksjonsseismikk kan også kobles opp mot bergmassekvalitet og Q-verdien (bergmasseklassifisering) med tolkning av hastighetene i de forskjellige lagene, der kartlegging ikke kan gjøres grunnet løsmasse overdekning. De ingeniørgeofysiske undersøkelsene er påkrevd der det er tvil om løsmassetykkelse og skal utføres etter Eurokode 7 [13]. Løsmassetykkelsen i for eksempel en kløft er viktig å kartlegge, slik at man kan være sikker på at man har nok overdekning i tunnelen. Refraksjonsseismikk og kjerneboringer kan gi bekreftelse på dette.

Når forundersøkelsene og prøvene er ferdig skal det lages en ingeniørgeologiskrapport med tilhørende geologiske kart og profil. Rapporten skal ha en oversiktlig framstilling av all relevant informasjon samt resultater av feltprøver og analyser. Behovet for sikring i tunnelen på grunn av Q-verdier og kostnadene knyttet til stabilitetssikringen skal vurderes. I tillegg skal det for steder som krever ekstra tiltak under driving utføres en vurdering av gjennomførbarheten av prosjektet. Det skal også lages en grov kalkyle over totalkostnadene. Usikkerhet ved tolkninger og vurderinger må presiseres og det må defineres på hvilket grunnlag disse er tatt. Rapporten er et viktig hjelpemiddel i



utarbeiding av anbudsdokumenter og legges ved



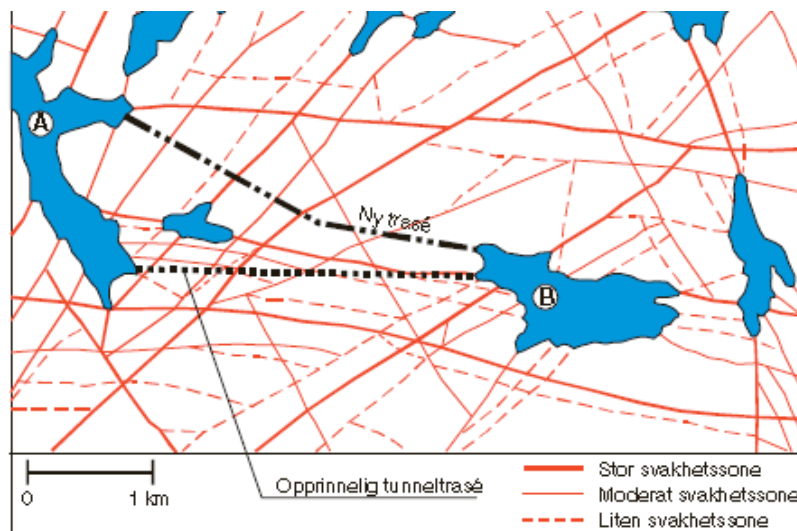
anbudsdokumentene. Figur 8 viser arbeidet fra flybilde til geologisk kart og profil. [17]

Figur 8 Opp til venstre: Flybilde av området Opp til høyre: Geologisk kart over området Nede: Geologisk profil av tunnelen [14]

3.2 Bruk av forundersøkelsene

Endelig plassering av tunneltraseen tas på grunnlag av informasjonen man innhenter fra forundersøkelsene, hvor tilegnet informasjon om bergforholdene vil være en avgjørende faktor for plasseringen.

Figur 9 viser et eksempel på opprinnelig trasé og plassering av ny trasé for en vannoverføringstunnel. Plassering av den nye traséen viser hvordan god planlegging og grundige undersøkelser kan redusere lengden av svakhetssoner i tunnelen. Ved å flytte den opprinnelige tunneltraseen i dette eksempelet vil man kunne redusere lengden av svakhetssoner fra ca. 500m til 100m. Dette er hovedsakelig fordi den nye tunneltraseen krysser vinkelrett på svakhetssonene, mens den opprinnelige tunneltraseen mer eller mindre går langs med svakhetssonene. Denne nye tunneltraseen vil være rundt 300m lengre, men dette vil man kunne tjene inn både i byggetid og kostnader. Driving gjennom svakhets-soner koster 3-5 ganger mer per meter enn driving i «godt berg». [14]

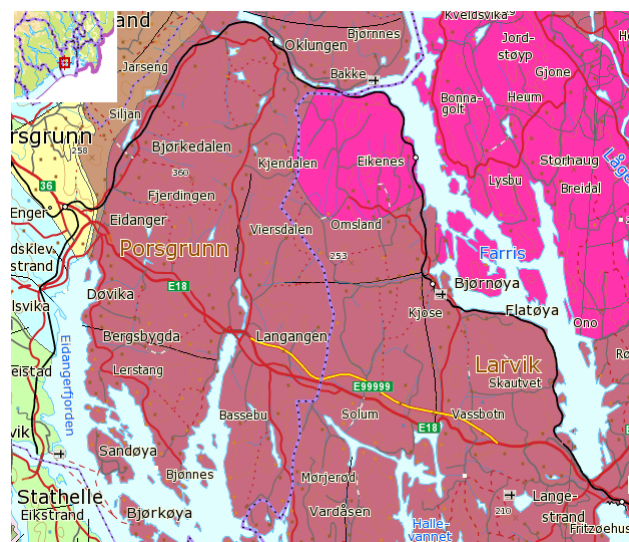


Figur 9 Plassering av tunneltrasé [14]

På strekning Larvik-Porsgrunn (Parsell 12) er det gjort omfattende undersøkelser. Ingeniørgeologisk kartlegging, refraksjonsseismikk, kjerneboringer, brønnboringer og prøvetaking med medfølgende laboratorieundersøkelser [15].

3.2.1 Geologien

Tunnelene på strekningen Porsgrunn ligger i den delen av Oslofeltet, der hovedbergartene er (Larvikitt). Vestlig del av består av sedimentære



Larvik-sørvestlige Monzonitt parsell 12.2 bergarter som

er en sandstein som ligger over kalk- og leirstein. Spredt over hele området forekommer oppsprukne eruptivganger av diabas, rombeporfyr og syenitt. Disse har bredde fra mindre enn 0,5 meter og opptil ca 10-15 meter, og følger nord-sørgående sprekketretningen.

Figur 10 viser berggrunnskart fra NGU over Larvik-Porsgrunn strekningen.

Topografien i området er kupert med oppstikkende koller og fjell eller et tynt løsmassedekke. Man finner markerte dalsøkk som følger knusnings- og svakhetssoner som hovedsakelig følger nord- sørretning. Dette er områder man må ta alvorlig under driving selv om de er undersøkt nøye.

Undersøkelser av larvikitten viser at det er lite oppsprekking og lav permeabilitet selv i svakhets-sonene. De sedimentære bergartene er svakere enn Larvikitten, og lagdeling vil også gjøre at det her vil ventes vanskeligere forhold [15].

3.2.2 Bergmassekvalitet

For tunnelene drevet i Larvikitt forventes det lange partier med massivt berg avbrutt av oppsprukne soner med en bredde fra 1-20m, hvor enkelte partier kan være leiromvandlet.

Påhuggene for tunnelene og i

Figur 10 Berggrunnskart fra NGU [15]

de områdene med lav overdekning ventes det mer oppsprukket og påvirket bergmasse. Eidanger tunnel vil i sin helhet gå gjennom sedimentære bergarter og ha mindre overdekning enn Storberget tunnel som går gjennom larvikitt. De største utfordringene under driving vil man derfor mest trolig møte i Eidanger tunnelen. Langs strekningen er det kvartærgeologiske delt inn i 3 grupper:

1. Områder med tynt løsmassedekke under marin grense.
2. Områder med tynt løsmassedekke over marin grense.
3. Områder under marin grense med tykt løsmassedekke.

Øvre marin grense (MG) ligger på rundt 140-145 moh. Løsmasser over MG består av morene eller myr og områdene under MG er havavsetninger silt, leire og fin sand. Det er også en stor randavsetning, i tillegg til sand og grus ved Eidanger og langs Herregårdsbekken, Ønna og Gunnarsrød finner man elveavsatt materiale.

Det er utarbeidet en bergmasseklassifisering av tunnelene langs parsell 12.2 som gir en oversikt over ventet kvalitet på bergmassene i en skala fra 1 til 5, der 1 er best forhold. Tabell 3 viser klassifiseringen. Tabellen tar også med hvilken sikring det er tenkt brukt til de forskjellige klassene. Kartlagte svakhetssoner og hvor disse er lokalisert vises i de geologiske kartene V00001 og V00002 [15].

Tabell 3 Bergmasseklassifisering av tunnelene i parsell 12.2 [15]

Tunnel	Klasse 1 og 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
Skillingsmyr (3810m)	80 % (3050m)	13 % (495m)	5 % (190m)	2 % (75m)
Ønnsåsen (635m)	63 % (400m)	30 % (190m)	7 % (45m)	0

Bergart

□	Løsmasser
□	Sandstein
□	Konglomerat, sedimentær breksje
□	Tektonisk breksje,
□	Mylonitt, fyllonitt
□	Sedimentære bergarter (uspes)
□	Leirskifer, sandstein
□	kalkstein
□	Kalkstein, leirskifer, mergelstein
□	Kalkstein, dolomitt
□	Granitt, granodioritt
□	Dioritt, monzodioritt
□	Syenitt, kvartssyenitt
□	Monzonitt, kvartsmonzonitt
□	Mangerittsyenitt
□	Ryolitt, ryodacitt, dacitt

Storberget (4685m)	55 % (2590m)	35 % (1625m)	9 % (420m)	1 % (50m)
Eidanger (2055m)	0	37 % (755m)	61 % (1250m)	2 % (50m)
Sikringsomfang enkeltsporet tunnel	Spredt bolting + 5 cm sprøytebetong i heng	Systematisk bolting C/C 2-2,5 m + 5-8 cm fiberarmert sprøytebetong	Systematisk bolting C/C 1,5-2 m + 8-15 cm fiberarmert sprøytebetong	Systematisk bolting C/C 1-1,5 m og evt. forbolting + > 15 cm fiberarmert sprøytebetong evt. med ribber og sålestøp som alternativ til betong utstøping.
Obs: Tabellen er fra 2001, og kravene til sprøytebetong er strengere i dag. (Det lyktes ikke å finne en oppdatert tabell).				

3.2.3 Bergoverdekningen for tunnelene langs parsell 12.2 [15]

Skillingsmyr tunnel vil i vertikalplanet starte med et fall på 12,5 ‰ og oppnår raskt tilstrekkelig god bergoverdekning. Gjennomsnittlig overdekning ligger på mellom 30-40m, med kun fem områder der overdekningen er mindre enn 20m og et parti med en overdekning opp mot 100m.

Storberget tunnel fortsetter med samme horisontalkurve som Langangen bru og har en stigning på 4 ‰. Overdekningen fra påhugg i øst er rundt 20 meter de første 250 meterne og stiger etter dette relativt raskt til 130-150 meter og opp mot 200 meter under Storberget og Valås. Vestre påhugg har lav overdekning, helt ned til 5 meter.

Eidanger tunnel har en stigning på 3 ‰. 30 til 40 meter av tunnelen vil likevel måtte legges i en kulvert på grunn av manglende bergoverdekning, sidespor til Norcem legges også i kulvert. Ønnsåsen tunnel har en tilfredsstillende overdekning på ca 30-50 meter.

4 Overbygging

Ved bestemmelse av overbygningen er det Jernbaneverkets tekniske regelverk som ligger til grunn. Overbygningen består av sporets trasé, sviller, skinner, sporveklere, skinnebefestigelse, ballast, skjøter og planoverganger. Videre deles sporet inn i overbygningsklasser og kvalitetsklasser [16].

Trafikken som kan tillates på sporet bestemmes ut i fra flere faktorer og overbygningsklassen er en av disse. For hver av overbygningsklassene er det fastsatt maksimale tillatte hastigheter med tilhørende maksimale øvre grenser for aksellast, se Tabell 4 [16].

4.1 Overbygningsklasse, skinneprofil

Ut i fra den bestemte overbygningsklassen bestemmes sporets konstruksjon med hensyn til skinneprofil og svilleavstand. For de forskjellige overbygningsklassene settes det ulike krav til sporkonstruksjonen [16].

Tabell 4 Tillatt hastighet og aksellast for overbygningsklasser [16]

Over-	Vogner i persontog	Motorvognsett	Godstog/arbeidstog
-------	--------------------	---------------	--------------------

Bygningsklasser	Nominell aksellast* (tonn)	Maks hastighet (km/t)	Nominell aksellast* (tonn)	Maks hastighet (km/t)	Nominell aksellast* (tonn)	Maks hastighet (km/t)
a	16	90	16	90	22,5 16,5	30 70
b	18	100	18	100	22,5 20,5 18	30 70 80
c	18	160	20,5 18	130 160	22,5 20,5 18	80 90 100
c+	18	160	20,5	160	22,5 18	50 90 110
d	18	230	20,5 20 18 17	160 200 250 300	25 22,5 18	70 100 110

*For vogner i persontog og motorvognsett er nominell aksellast bestemt som statisk aksellast på sporet når toget er lastet med antall sitteplasser x 80 kg, togpersonalet, 2/3 fulle tanker pluss alt nødvendig materiale for operativ drift.

I Hovedplanen for strekningen Farriseidet – Porsgrunn (parsell 12) fra 1999 [6] ble det fastsatt at overbygningsklasse *d* skulle legges til grunn for dimensjoneringen, og dette ble fortsatt gjeldene etter endringen fra enkeltspor til dobbeltspor. I teknisk regelverk leser man deretter av at det for overbygningsklasse *d* skal velges skinneprofil 60E1 (UIC60) (se [19] for dimensjonering) og svilleavstand 600 mm.

Ved valg av sporets kvalitetsklasse brukes Tabell 5 hentet fra teknisk regelverk [16]:

Tabell 5 Kvalitetsklasser [16]

Kvalitetsklasse	Hastighet km/t
K0	145 -
K1	125 – 140
K2	105 – 120
K3	75 – 100
K4	45- 70
K5	– 45

Kvalitetsklassene grupperes etter strekningshastighet, og for de ulike kvalitetsklassene fastsettes krav til sporets beliggenhet, sporgeometri og utformning av geodetisk fastmerkenett. Teknisk regelverk setter krav for de ulike parametrene [16]:
sporvidde – høydebeliggenhet – ujevnheter i overhøyde – sidebeliggenhet – vindskjevhet – kvalitetstall – utformning av fastmerkenett

Med hastighet på opp til 250 km/t vil Parsell 12 klassifiseres som kvalitetsklasse K0 [16], og i teknisk regelverk under Overbygning/Vedlikehold/Sporjustering og stabilisering [17] er kravene til geometri og beliggenhet gitt, mens under Overbygning/Prosjektering/Utfesting og fastmerkenett [18] finnes prosjekterings- og byggekravene til geodetisk fastmerkenett og utfesting av sporet.

4.2 Sviller og befestigelse

I tillegg til skinner består sporkonstruksjonen av sviller, befestigelse og isolerte skjøter. Ved sporombygging og ved nyanlegg skal Tabell 6 følges ved valg av disse komponentene:

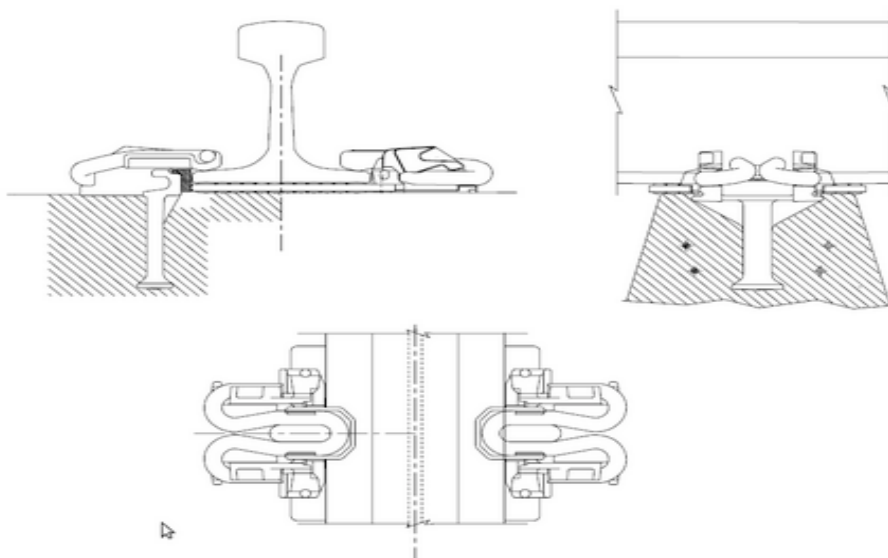
Tabell 6 Sporoverbygning som skal benyttes ved nyanlegg og sporombygging [20]

Skinner	Skinnebefestigelse	Sviller	Overbygningsklasse
60E1	Pandrol Fastclip	Betong NSB 95	d
49E1/54E3	Pandrol Fastclip	Betong JBV 97	c
49E1/54E3 (brukte og nye)	Pandrol Fastclip	Tre	c
49E1/54E3 (brukte)	Heyback	Tre	c

I følge Jernbaneverkets tekniske regelverk skal skinnene fungere som bærebjelke, kjørevei og som returleder for kjørestrømmen. I tillegg er det skinnenes oppgave å overføre belastningene fra det rullende materiell til svillene. For å forbinne skinnen med svillen brukes det som kalles skinnebefestigelse og denne skal også overføre krefter fra skinne til sville [20].

De ulike kreftene som vil påvirke befestigelsen er vertikale – og tverrkrefter fra trafikken i sporet, og langsgående kreftene forårsaket av temperaturendringer og oppbremsing av rullende materiell i sporet. Befestigelsen sin funksjon er dermed å sikre sporvidden og yte motstand mot utkneking av sporet ved de opptredende kreftene. Fra svillene overføres den vertikale og horisontale belastningen gjennom svillenes opplagerflater og sideflater og videre til ballasten [20].

Parsell 12.2 er nyanlegg og for den gitte overbygningsklassen (d) velges Betongsviller NSB 95 (se [21] for dimensjonering) og Pandrol Fastclip (se [22] for dimensjonering) til befestigelse [20]. Figur 11 viser en skisse av den valgte sporkonstruksjonen.

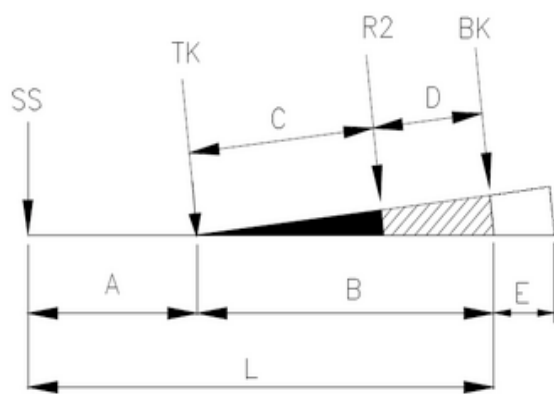


Figur 11 60E1-Pandrol Fastclip - NSB 95. Øverst til venstre: Vertikalsnitt. Øverst til høyre: Vertikalsnitt side. Nederst: Horisontalsnitt ovenfra [23].

4.3 Sporvekslere

Ved valg av sporvekseltype skal den sporvekselen som tilfredsstillter kravene til maksimal anvendelighet og minimal vedlikeholdskostnad i høyest mulig grad velges. For strekningen Farriseidet til Porsgrunn ble sporveksel med radius $R = 1200\text{mm}$ og stigning 1:18,4 valgt. Teknisk regelverk anbefaler at det for nyanlegg bør velges enkle sporvekslere i hovedsporet, og at sporvekslerne skal utføres med samme skinneprofil som det øvrige sporet. Dette betyr at det for Parsell 12.2 skal anvendes skinneprofil 60E1 for sporvekslerne. I tillegg skal det for benyttes betongsviller og befestelsessystemet Pandrol Fastclip for sporvekslere med 60E1 skinneprofiler [24].

I følge teknisk regelverk skal sporvekslere med radius 1200mm eller større ha skinnestykker med bevegelig vingeskinne eller krysspiss. For Parsell 12.2 betyr dette at sporveksleren skal utformes med bevegelig skinnestykker [24]. For den aktuelle sporveksleren er hovedmålene samt en skisse gitt under.



Figur 12 Enkel veksler [24]

- SS: Stokkskinneskjøt
- BK: Bakkant sporveksel
- R2: Sirkelkurvens endepunkt i avvik
- TK: Teoretisk kryss
- L: Byggelengde
- D: Rettlinjet parti i avvik
- E: Lengde av parti med langsviller utenfor BK

Tabell 7 Hovedmål for sporveksel med bevegelig skinnestykker [24]

Profil	Sviller	Radius	Stigning	A	B	C	D	E	L
60E1	Betong	1200	1:18,4	32829	34429	34429	-	10781	67257

Alle mål er i mm.

4.4 Ballast

Overføringen av horisontal – og vertikalkrefter fra svillene til underbygningen skjer gjennom ballasten. For store ballastspenninger kan føre til knusing av ballastmateriale og sviller, og for å unngå dette må ballasten ha stor nok tykkelse [25].

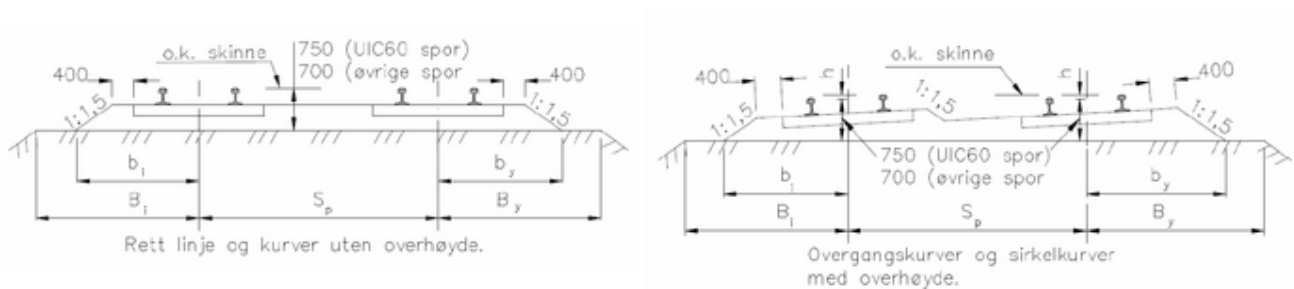
For både dobbelt – og enkeltspor er den nødvendige planeringsbredden avhengig av svilletypen. Parsell 12.2 skal bygges med sviller av typen Betong NSB 95 [6] og teknisk regelverk gir følgende verdier for denne typen svill og nye spor generelt [25]:

Tabell 8 Planeringsbredder for dobbeltspor med svilltype NSB 95 [25]

Sporets overhøyde h	bi	by	Bi	Sp	By
---------------------	----	----	----	----	----

0mm	2575mm	2575mm	3500mm	4400mm	3500mm
50mm	2535mm	2695mm	3500mm	4400mm	3500mm
100mm	3495mm	2815mm	3500mm	4400mm	3500mm
150mm	2455mm	2935mm	3500mm	4400mm	3500mm

Målene for ballastprofilene i Tabell 8 er gjeldene for strekningshastig opp til og med 200 km/h. Ved prosjektering av strekninger med hastighet over 200 km/h skal overhøyden økes med 50mm i forhold til verdiene i tabell 5 [25].



I Figur 13 vises skisser av **Figur 13 Ballast for dobbeltspor [25]** sporkonstruksjoner uten og med overhøyde. I Hovedplanen fra 1999 [6] ga en dimensjonerende hastighet på 200km/h og normale krav til sikkerhet, komfort og vedlikeholdsbehov en dimensjonerende overhøyde på 105mm. Ved minste krav til komfort, sikkerhet og vedlikeholdsbehov var maksimal overhøyde gitt til å være 135mm. Videre settes maksimal overhøyde til 150mm.

I henhold til teknisk regelverk må disse verdiene derfor økes med 50mm for å tilfredsstille kravet til strekninger med hastighet over 200 km/h [25].

5 Det elektriske kraftsystemet

For det elektriske kraftsystemet vil det ikke være store prinsipielle forskjeller med å bygge i tunnel i forhold til ute i det fri. Det viktigste for det elektriske kraftsystemet er derfor å få frem hvilke nytenkninger som ligger i det norske jernbaneverket med tanke på de nye utbyggingene; nemlig AT-systemet.

Det kan være lurt å lese gjennom Tabell 9 før man fortsetter for å få med seg viktige ord og forkortelser som blir brukt.

Tabell 9 - Viktige forkortelser [26]

Forkortelse	Forklaring
AT-system	Autotransformatorsystem
PL	Positivleder. Linje med positiv spenning som går parallelt med jernbanen
NL	Negativleder. Linje med negativ spenning som går parallelt med jernbanen.
KL	Kontaktledningsanlegg, KL-anlegg: Komponentene strømforsyning for elektrisk banedrift består av, dvs. ledninger, master, brytere mm

Matestasjon	Fellesbetegnelse på omformer-, transformator- og kraftstasjoner som leverer elektrisk energi til Jernbaneløpets kontaktledningsanlegg
ASB	Automatiske seksjoneringsbrytere
GIK	Gjeninnkobling etter utfall som for eksempel kortslutning. Er oftest automatisk og kobles inn 2-3 ganger for å se om nettet har stabilisert seg
Banestrøm	Jernbaneløpets navn på sitt eget elektriske system
EMC	Electromagnetic compatibility. Forskjellige elektriske systemers mulighet til å fungere i sameksistens med hverandre. I jernbanesammenheng er det spesielt jordstrømmer som virker forstyrrende på andre komponenter.

5.1 Introduksjon til banestrøm

De kommende avsnittene gir en kort innføring til banestrøm i Norge. Man vil få vite hvorfor den norske jernbanen har den frekvensen og spenningen som er i dag og litt om energibruk. Det mer spennende er forskjellen på banestrømteknologien som brukes i dag, kontra den nye som skal bli standard i hele den elektrifiserte delen av den norske jernbanen.

5.1.1 Historien bak frekvens- og spenningsvalget i den norske jernbanen

Kraftnettet i Norge, som de fleste andre land, består av et trefasesystem på 50Hz. Kraftnettet til den norske jernbanen har derimot en frekvens på 1623 Hz.

På slutten av 1800-tallet gikk togene på likestrøm, men tidlig på 1900-tallet så man at vekselstrøm var mer effektivt sammenlignet med likestrøm. Et vekselstrømsystem har større kapasitet enn et likestrømsystem på lange avstander og ved stort effektbehov.

Det er flere forskjellige måter å koble opp et vekselstrømsystem på, men et naturlig valg ble vekselspenning med én fase da det bare er nødvendig med én kontaktledning. Det ble vurdert flere forskjellige alternativer, og like før den første verdenskrigen ble de sentraleuropeiske – og nordiske landene enige om å elektrifisere med 15 kV, 1623 Hz [27]. En grunn til å velge 1623 Hz fremfor 50 Hz var problemer med gnister i motoren. Det reguleringsstekniske var heller ikke utviklet i tilstrekkelig grad. De aller fleste nye isolerte høyhastighetsbaner i Europa blir i dag bygget med 50Hz-system siden man ikke har de store reguleringsproblemene som man hadde før, i tillegg til at man har fått mye hjelp fra kraftelektronikken.

5.1.2 Energibruk

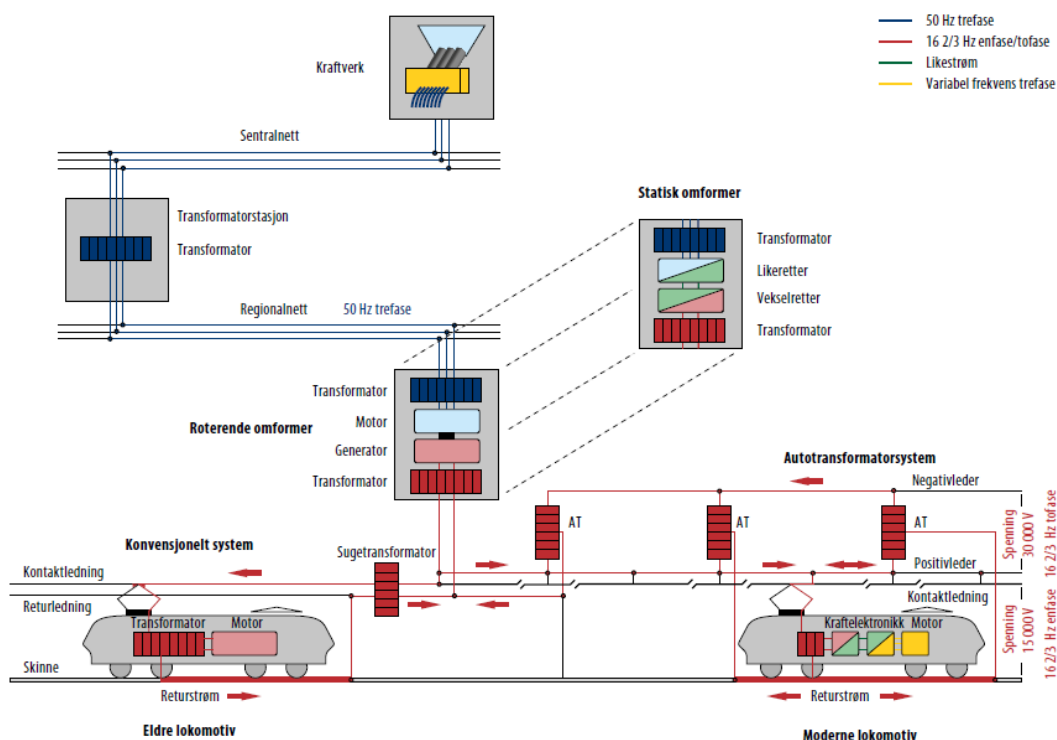
For å korte ned reisetid er det nødvendig med høyere hastigheter. Høyere hastigheter øker den aerodynamiske motstanden til toget, om toget er det samme som før. Den kinetiske energien til tog øker også dramatisk ved høyere hastigheter og med dette øker energiforbruket toget trenger for å komme opp i nominell kjørehastighet.

Etter hvert som hastighetene øker er det også skjerpede krav til spenningsnivået i banenettet. For konvensjonelle og klassiske linjer er spenningskravet på 12kV, mens det for høyhastighetslinjer er 14,2kV. Dette stiller større krav til å opprettholde en høyere og mer stabil spenning på tross av at effektbruken øker. Den høyeste tillatte spenningen er for begge alternativene $\leq 17,25\text{kV}$ [28].

For å etterkomme disse kravene blir det bygget et nytt banestrømsystem i jernbanenettet. Dette nye systemet er allerede blitt bygget på deler av Vestfoldbanen, og vil også bli benyttet på strekningen mellom Farriseidet og Porsgrunn.

5.1.3 Fremdrift

Figur 14 viser en skjematisk oversikt over banestrømforsyningen i det norske jernbanenettet. Som man ser her, så forsynes strøm fra det regionale strømnettet til Jernbaneverket sitt eget strømnnett. Både frekvens og spenning blir omformet i disse stasjonene. Spenningene blir transformert fra forskjellige nivåer, for det meste i området 11kV-132kV. Dette bestemmes av hvilke spenningsnivå det lokale nettselskapet har utbygd.



Figur 14 - Systemoversikt for banestrømforsyning [11]

I Figur 14 ser man en oversikt over både det konvensjonelle systemet og autotransformatorsystem. Det siste, som ofte forkortes AT-system blir diskutert under avsnittet «5.2 Hva må gjøres for å tilpasse seg fremtiden med dobbeltspor» på side 27.

Det konvensjonelle systemet har omformerstasjoner plassert ute langs banenettet. Omformerstasjonene som mater inn på kontaktledningsanleggene har varierende avstand mellom hverandre. Vanlige avstander er 60-80km [29].

5.2 Hva må gjøres for å tilpasse seg fremtiden med dobbeltspor

I takt med den utbyggingen som blir planlagt må Jernbaneverket forsterke strømforsyningen. Som nevnt tidligere krever større hastigheter både mer energi og effekt for at jernbanen skal fungere optimalt.

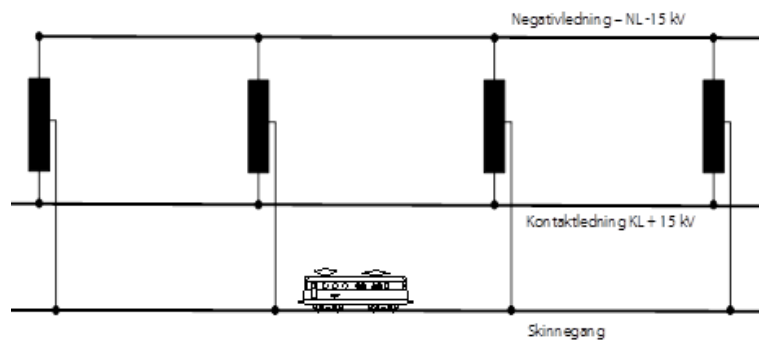
Grunnet dårlig konduktivitet i jordsmonnet i Skandinavia må det nåværende systemet utrustes med sugetransformatorer som hindrer uønskede jordstrømmer og dårlige EMC forhold. Sugetransformatoren sørger for å dra jordstrømmene tilbake i egne returledere eller i skinnene, slik at man slipper jordstrømmer som kan påvirke langsgående kabler og infrastruktur. Sugetransformatorene er plassert med 3-4 km mellomrom og har et omsetningsforhold på 1:1.

Problemet med dette systemet på en bane med høyere hastigheter er at effektbehovet vil være vesentlig høyere enn på dagens baner. Siden omformerstasjonene er veldig kostbare vil dette systemet bli mye dyrere enn et AT-system med samme overføringskapasitet [30].

Den teknologien som har vist seg å være den beste for den fremtidige norske banestrømforsyningen er AT-systemet [33]. AT-systemet reduserer impedansen mellom matestasjon og tog med omtrent en tredjedel sammenlignet med konvensjonelt kontaktledningsanlegg og reduserer derfor tapene og forbedrer spenningen for togene. I Figur 36 under Vedlegg ser man en oversikt over hvordan impedansen er som funksjon av strekning. Denne figuren er hentet fra det svenske jernbanesystemet, som er noe forskjellig fra det norske. Dette blir omtalt senere i teksten.

5.3 Detaljert beskrivelse av AT-system på dobbeltspor

Figur 15 viser en prinsippskisse for AT-system i sin enkleste form. Autotransformatorene står plassert ved jernbanestasjoner på ca. hver tiende kilometer langs banen. De har en tilkobling på +15kV på positivlederen, 0kV for returskinne og -15kV for negativlederen. Det vil si at effekten overføres på 30kV fra omformerstasjonen til hver enkelt autotransformator. Kontaktledningen er tilkoblet positivlederen ved og midt mellom hver autotransformatorstasjon slik at kontaktledningsspenningen ved toget forblir 15kV [31].



Figur 15 - Prinsipp for AT-system [32]

Som vanlig har kontaktledningen 15kV spenning, men istedenfor en tilbakeleder på ledningsstolpene har man en ekstra mateledning der vekselstrømmen ligger 180 grader i motfase til kontaktledningen. Den doble spenningen gjør at strømmen halveres både i kontaktledningen og i mateledningen. Unntaket er den strekningen der et tog befinner seg, hvor strømmen blir som vanlig.

AT-systemer på dobbeltspor er i andre land normalt bygd som to uavhengige enkeltspor med én AT for hvert spor og egne negativ - og eventuelt positivledere for begge sporene. Disse mates fra hver sin effektbryter ved matepunktene. Kostnaden med å bygge et slikt AT-system kan bli tilnærmet det samme per lengdeenhet spor som for et enkeltspor [33]. Det finnes ett utbygd parallellkoblet AT-

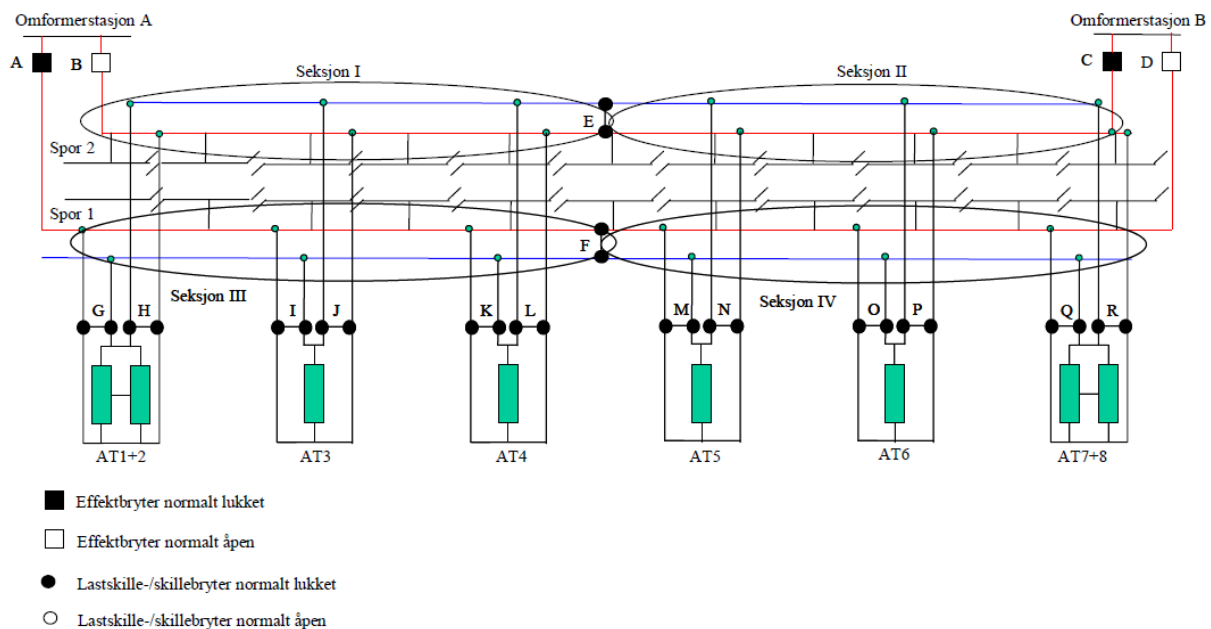
system i verden, men dette sees på som for spesielt til å benyttes i Norge [34]. På den andre siden er det et ønske om å bygge adskilte systemer som muliggjør parallellkobling.

Ved å parallellkoble sporene vil man kunne spare en transformator, men man får i tillegg brytere for å parallellkoble de to sporene. Det forutsettes her PL og NL på begge spor. Ved feil (kortslutninger etc.) bør de to sporene raskest mulig kunne separeres slik at feilen ikke unødvendig påvirker trafikken på nabo-sporet [33].

5.3.1 Parallellkoblet AT-system

Parallellkobling blir bare omtalt med en skisse og en kort forklaring siden det ikke er dette alternativet som i størst grad er ønsket å bruke på nye dobbeltspor i Norge.

Figur 16 viser hvordan en parallellkobling av dobbeltspor kan realiseres. Bare den positive lederen (rød) og negative lederen (blå) er vist. Kontaktledningsanlegget blir matet fra den positive lederen.



Figur 16 Parallellkobling av AT-system [33]

5.3.2 Adskilt AT-system for hvert spor

Med et separat AT-system for hvert spor vil man ha en autotransformator for hvert enkelt spor ved hver lokasjon, altså om lag hver 10. km. Det vil ikke være noen fast sammenkobling mellom sporene. Det er derfor heller ikke nødvendig med automatiske seksjoneringsbrytere (ASB), som man trenger ved parallellkobling.

Ved avvikssituasjoner kan det derimot være ønskelig eller nødvendig med brytere for å koble sporene sammen. Man kan da koble positiv- og negativleder på det ene sporet helt ut på grunn av feil eller vedlikehold. I så fall beholder man mating med AT-system på hele strekningen og trafikken som kan kjøres i denne avvikssituasjonen påvirkes lite av dårlig spenning.

Ved feil som gir bryterfall i dette systemet vil man ved første bryterfall kun miste spenningen på det sporet hvor feilen er. Etter 2. GIK er den ene halvdel her igjen spenningsatt og dermed er $\frac{3}{4}$ av strekningen spenningsatt som normalt. Man må gjøre feilsøking på den resterende fjerdedelen manuelt [33].

Utetiden i dette systemet vil bli mindre og antall ASB vil være færre enn ved parallellkoblet system. Kompleksiteten i antall brytere og koblingsmuligheter blir mindre. Ulempen er at man her trenger dobbelt så mange autotransformatorer og altså økte investeringskostnader.

Det er ønsket å kunne gjøre vedlikehold på KL-anlegget med spenning på PL og NL også ved dobbeltspor. For at dette skal være mulig må mastarrangementet med AT-system være høy nok. Dette vil føre til ekstra kostnader, men de er bare omtrent 5 % dyrere per mast i tillegg til en liten ekstrakostnad i fundamenteringen. Det er ønskelig å bruke penger på dette siden prisen er liten i forhold til nytteverdi [33].

5.3.3 Anbefalt løsning for AT-system

Den anbefalte løsningen for AT-system på dobbeltspor, som inkluderer de nye parsellene på vestfoldbanen, blir derfor å bygge AT-system med seksjonert kontaktnett som på enkeltspor, med høyere KL-master med PL og NL på toppen. Det er ikke anbefalt å installere parallellkobling mellom sporene, men med mulighet for parallellkobling midt på, enten med en enkelt bryter eller med koblingshus med egne effektbrytere og full vernutrustning dersom belastning og driftsforhold i fremtiden krever dette. Ved spesielt korte avstander mellom omformerstasjoner kan behov for å koble ut KL og beholde spenningen på PL og NL være mindre slik at lavere master da kan vurderes.

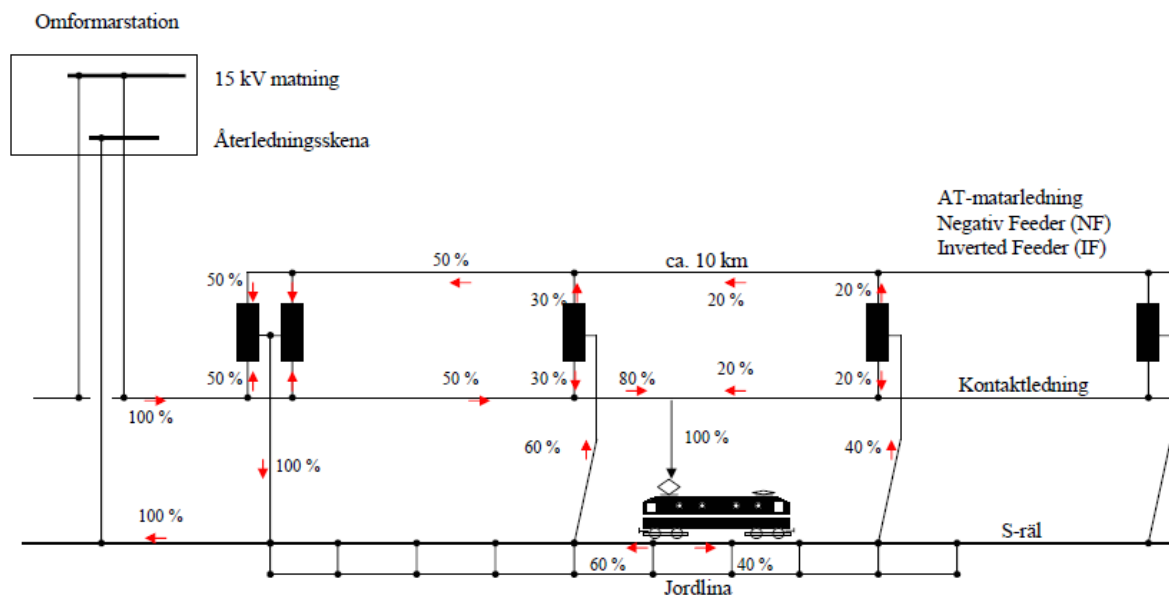
Systemet er vurdert til å få tilfredsstillende EMC-forhold uten bruk av ekstra komponenter som BT, slik at det også blir billigere og mindre komplekst. I tillegg kan man med dette systemet koble fra og jorde en kontaktledningsseksjon uten å måtte koble fra NL og PL. På denne måten kan man ha trafikk på andre seksjoner samtidig som det utføres vedlikehold eller tilsyn på kontaktledning [30].

5.4 For spesielt interesserte

I samtaler med kontaktpersoner i Jernbaneverket, samt innspill fra landsbylederen er det laget et lite avsnitt for spesielt interesserte. Det som beskrives her er informasjon som en leser uten elkraftfaglig bakgrunn muligens ikke vil ha særlig nytte av; nemlig hvordan strømmene forplanter seg i AT-systemet samt en beskrivelse av en autotransformator.

5.4.1 Strømmer i AT-systemet

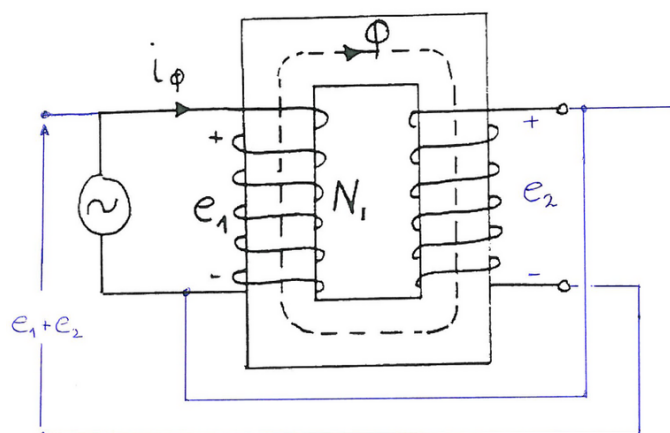
Figur 17 viser hvor stor andel av strømmen som i teorien går i de forskjellige ledningene. Ved å gå inn på kilden som er referert til i figurteksten, så finner man også en oversikt over de eksakte målingene. Denne oversikten er ikke tatt med her siden de er såpass like. Noe man riktignok skal ha i baktankene når man studerer figuren er at det svenske AT-systemet er noe ulikt det norske. I Sverige har de et AT-system med to NL, noe som ikke vil være praktisk i Norge på grunn av de mange tunnelene som er i dette landet.



Figur 17 Strømmer i svensk AT-system [36]

5.4.2 Autotransformator

I en autotransformator er viklingene, som på en ordinær toviklingstransformator kalles primær- og sekundærviklingen, sammenkoblet. Spenningene i viklingene som ligger på samme kjernebein ligger i fase med hverandre. Når viklingene kobles sammen vil spennningene i viklingene summeres, se Figur 18.



Figur 18 Autotransformator [37]

Siden viklingene i en autotransformator er sammenkoblet er de dermed ikke galvanisk skilt, og fordi spennningene i de to viklingene er i fase med hverandre vil det høyeste spenningsnivået på autotransformatoren utgjøres av summen av spennningene i de seriekoblede viklingene.

6 Signal – og teleanlegg

Denne delen av rapporten omhandler jernbaneverkets signal – og teleanlegg. De første delene gir en innføring i hvordan tele disse anleggene er bygd opp og dette vil gi en større forståelse for hvordan signal- og teleanlegg henger sammen med togframføringen.

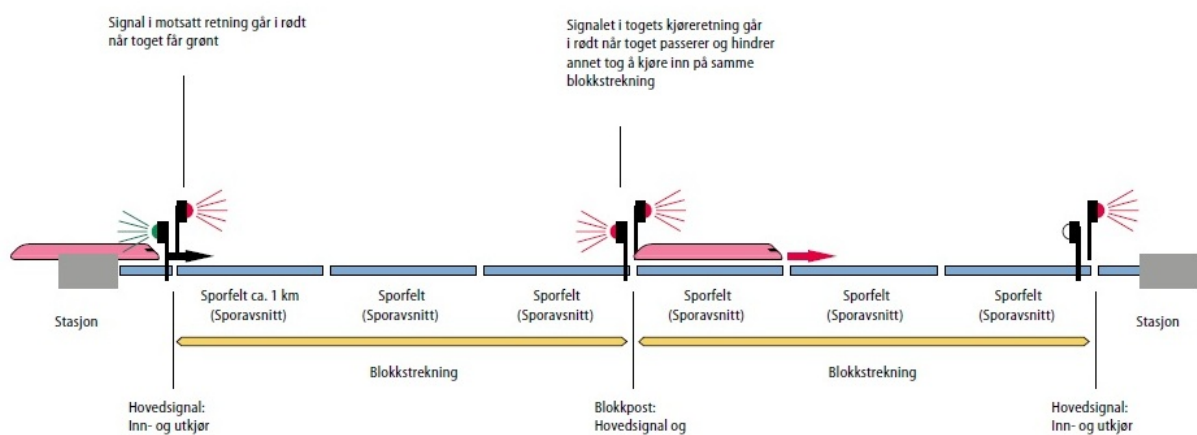
Det legges vekt på teleanlegg og lavstrøm inne i tunnel, og også her spesielt med tanke på Storberget tunnel. Systemene vil følge teknisk regelverk, og byggingen av Storberget tunnel vil ikke avvike fra dette.

6.1 Signalanlegg

Signalanlegg omfatter sikringsanlegg, for stasjoner, strekninger og planoverganger, automatisk togkontroll (ATC) og fjernstyring av sikringsanlegg (CTC). Hensikten med signalanlegg er å sikre en trygg togframføring, samt å sørge for at togene er så punktlige som mulig [11].

6.1.1 Sikringsanlegg

For å få en trygg togframføring, har jernbaneverket flere signalanlegg som er konstruert slik at verken menneskelige eller tekniske feil skal kunne føre til ulykker. Ved den minste feil eller uregelmessigheter på linjen, vil det automatisk registreres i sikringsanlegget, og de berørte signalene vil vise stopp, rødt lys. Alle tog fjernovervåkes av en togleder, slik at selv om togets fører får informasjon fra skilt og signaler langs linjen, har togleder til en hver tid kontroll på hvor de ulike togene befinner seg, og i hvilken retning de beveger seg. Togleder kan også gripe inn ved å slå av kontaktledningsspenningen på elektrifiserte strekninger hvis farlige situasjoner skulle oppstå [11].



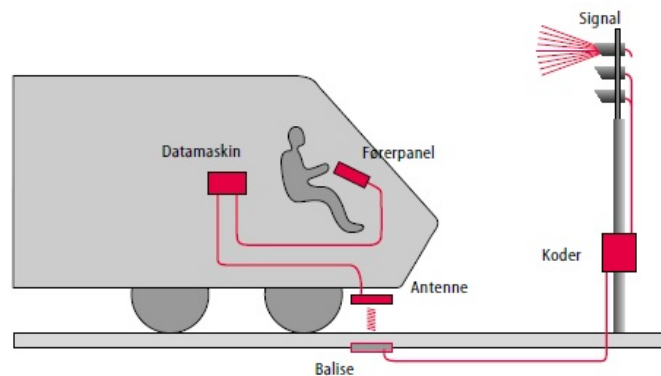
Figur 19 Sporfelt, linjeblokk og blokkpost [11]

Fra Figur 19 kan vi se at alle jernbanens strekninger er delt inn i sporavsnitt. Hvert sporavsnitt har et eget navn og nummer, og overvåkes av et sporfelt eller av akseltellere. Et sporfelt gir kontinuerlig overvåking og har som oppgave å gi informasjon til sikringsanlegget om det befinner seg et tog på sporavsnittet eller ikke. Akseltellere finnes i hver ende av et sporfelt, og dette er et system som teller aksler inn og ut av sporavsnittet. I mellom stasjonene er sporavsnittene satt sammen til en eller flere blokksrekninger, og sikkerhetssystemet på en slik strekning kalles en linjeblokk. Som skissert i Figur 19 går signalet i motsatt retning i rødt når toget får grønt lys, og når toget kjører inn på en ny blokksrekning går signalet i togets kjøreretning i rødt når toget passerer. Dette er for å hindre et annet tog fra å kjøre inn på samme blokksrekning. Blokkposter forkorter avstanden mellom signalene og øker dermed kapasiteten på linjen, disse er satt opp slik at flere tog kan kjøre i samme retning samtidig [11].

6.1.2 Automatisk togkontroll

Automatisk togkontroll (ATC) er en fellesbetegnelse for automatisk togstopp og automatisk hastighetsovervåking. Det finnes to systemer, og disse kalles DATC og FATC, hvor D står for delvis og

F står for fullstendig. ATC er et system som griper inn i farlige situasjoner som oppstår. Dette kan for eksempel være hvis toget kommer opp i for høy hastighet eller hvis toget forsøker å passere et hovedsignal som sier stopp, så vil ATC forhindre dette [11].



Figur 20 Automatisk togkontroll [11]

ATC består av to hovedsystemer, som vist i Figur 20, en del på lokomotivet og en del i infrastrukturen. Både den rullende delen og infrastruktur delen sender og mottar radiosignaler. Den rullende delen består av en sender/mottaker antenne, en datamaskin og et førerpanel, mens infrastrukturen består av baliser som er festet i svillene til sporet, og et grensesnitt mot signalanlegget. En balise er en anordning som har innebygd antenne, og denne brukes til å angi togenes posisjon og til å gi signalbeskjed til lokomotivet. Balisene aktiveres av radiobølger som antennen i lokomotivet sender ut. Når balisene er aktivert sender de ut beskjeden som skal formidles til lokomotivet. Denne beskjeden sendes så gjennom systemet i den rullende enheten, til førerpanelet, som leser av signalet. En slik beskjed kan for eksempel inneholde informasjon om hva som forventes ved neste signal. Datamaskinen i lokomotivet som behandler data fra balisene sammen med data fra lokomotivet, gir beskjed om toget skal bremse og sørger for at bremsingen skjer tidsnok [11].

DATC kontrollerer hastigheten inn mot sporvekslere i avvik og mot signaler med restriktiv beskjed. DATC er bygd ut på nesten alle elektrifiserte strekninger i Norge, men på nye strekninger i dag er det krav om FATC. FATC anlegget har flere baliser enn DATC, og dette gjør at flere punkter på sporet overvåkes. Dette er nødvendig for å kunne kjøre med høy hastighet, fra 130 til 270 km/t. Når anlegget er fullstendig utrustet med FATC, kan det kontrolleres at hastigheten er som forutsatt, og dette anlegget er ønskelig på strekninger med stor trafikk [11].

Parsell 12.2 skal bygges med sikringsanlegget FATC, og er dimensjonert for hastigheter inntil 200 km/t. Strekningen skal fjernstyres fra Drammen. Hastigheten ved kjøring til avviksspor på Storberget stasjon er 100 km/t. Det er vil bli laget en overgang mellom sikringsanlegget på parsell 12.2 og sikringsanlegget på Porsgrunn stasjon, da dette ikke vil være det samme [38].

Sikringsanlegget for parsell 12.2 utstyres med 7 hovedsignaler for inn- og utkjøring, 4 dvergsignaler samt 3 forsignaler. Signalene vil bli festet på veggene i tunnelene for å unngå konflikter mellom master og rømningsveier [38].

6.1.3 Fjernstyring

Fjernstyring av tog (Centralized Traffic Control, CTC), innebærer at stasjonenes sikringsanlegg kommuniserer med en fjernstyringssentral som styres av en togleder. Disse er da betjent av en

togleder døgnet rundt. Fjernstyring av en stasjon vil innebære en betydelig effektivisering, da tog kan krysse på stasjoner uten at stasjonen er betjent av en togekspeditør. Toglederen kan stille signaler for inn og utkjøring til stasjon, og programmere krysninger av tog på stasjon. Dette systemet er ikke et sikringsystem i seg selv, men er et hjelpemiddel for å effektivisere togdriften.

Databaserte systemer gir muligheter, og jernbanelivet har i dag stort sett bare databasert fjernstyring i bruk. Hvert tog har sitt eget nummer, og med CTC systemet kan alle togenes bevegelser vises, og identifiseres for togleder. CTC systemet gir også mulighet for å styre toganviserianlegg, plattformskilt, ved hjelp av informasjonen som dette systemet gir [11].

6.2 Teleanlegg

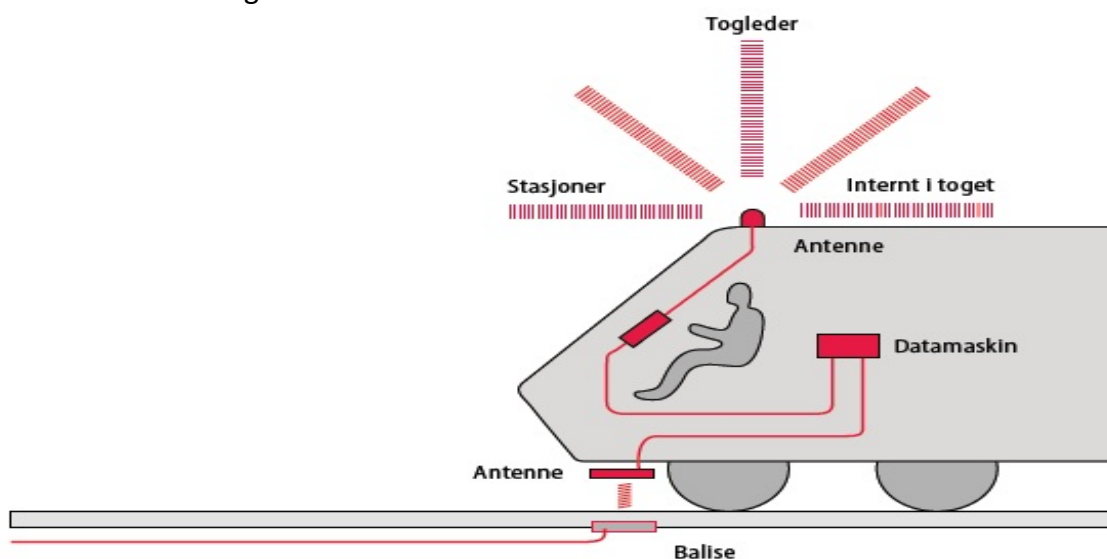
Jernbanen har i dag et moderne digitalt telenett. Dette innebærer at det brukes ny teknologi i forhold til de gamle systemene og at det har skjedd en overgang fra tidligere analoge systemer til dagens digitale systemer. Ved anskaffelse av nye systemer i telenettet, er det krav om at de skal følge internasjonal standard. Dette kan i noen tilfeller være vanskelig, siden det av og til kan være aktuelt å la de gamle analoge systemene være i drift sammen med de nye. I slike tilfeller kan det bli aktuelt å utvikle nye grensesnitt slik at nye og gamle systemer skal fungere bedre sammen.

Et teleanlegg består av kabler, transmisjonslinjer, GSM-R nett, publikumsinformasjonsanlegg og CTC – Fjernstyring. Anlegget bindes sammen med kabler og radiolinjesystemer, transmisjonssystemer og radiosystemer.

Jernbanelivets telenett skal [11]:

- Sikre nødvendig samband for togframføring
- Sikre nødvendig samband for styring og kontroll av alle tekniske anlegg knyttet til togframføringen
- Effektivisere driften hos jernbanelivet og brukerne av jernbanelivet, gjennom å utnytte moderne telekommunikasjonssystemer best mulig
- Sørge for at moderne informasjonsteknologi kan benyttes for å tilfredsstille kundens krav

Sambandet er skissert i Figur 21 under:



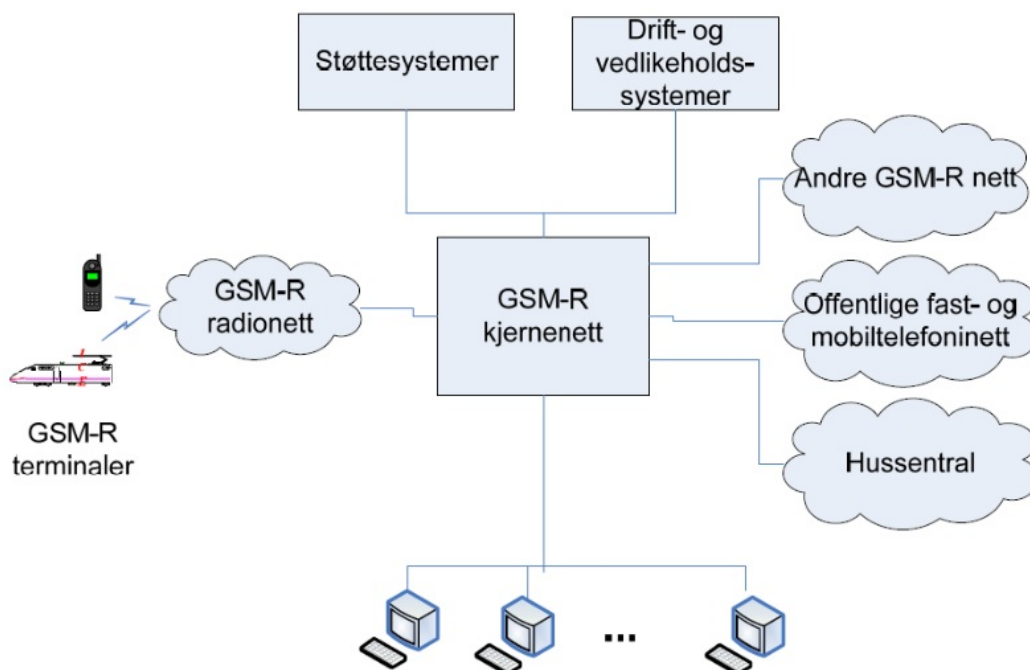
Figur 21 Samband [11]

Det finnes ulike typer kabler som brukes på forskjellige områder. Fiberoptiske kabler består av to typer; singelmodus og multimodus. Kobberkabler finnes det også to typer av, og disse brukes enten direkte i jord eller de legges i en kanal. Det brukes også radiofrekvens kabler, koaksialkabler og strålekabel. Strålekabel blir brukt i tunneler som en langstrakt antenne [11].

Fiberoptiske kabler har bedre kvalitet og kapasitet enn andre kabler, og overfører informasjon ved hjelp av lys. Disse kablene har meget stor kapasitet, og har nesten ubegrenset båndbredde. Begrensningene ligger i dag i transmisjonssystemene. De fiberoptiske kablene er skjermet mot støy, og fordi disse kablene ikke blir påvirket av de store mengdene elektromagnetisk støy langs traseene, er de veldig godt egnet til bruk langs elektrifiserte jernbanetraséer. Fiberoptiske kabler har lang rekkevidde, og liten demping i kablene gjør at signalet ikke behøver å forsterkes så ofte. Det transmisjonsutstyret som jernbaneverket benytter i dag kan overføre signaler over 50 km før signalet blir så svekket at det må regenereres. Digitale transmisjonssystemer benyttes for å overføre informasjon på fiberkablene [11].

Jernbanenettet består av omtrent 4000 km, og jernbaneverket har som mål å legge fiberkabler langs hele denne strekningen. Langs traseene kan kablene legges på ulike måter. Den mest kostbare metoden er å legge kabelkanaler i betong. Fordelen med dette er at kablene ligger godt beskyttet, og den brukes derfor som en standard på sterkt trafikkerte strekninger. Et annet alternativ er å legge luftkabler i kontaktledningsmaster. Denne metoden er billigere enn betongkanaler, men kablene er mer utsatt for skade. Luftkabler benyttes først og fremst når det er krav om hurtig kabelforbindelse, men disse kablene vil på sikt bli lagt i bakken. Jordkabelanlegg er den mest benyttede metoden, hvor lages det enten en grøft som kablene legges i, eller de pløyes rett ned i bakken. Denne løsningen er billigere enn kanaler, men det er mer sannsynlig at kablene får skade ved graving langs sporet, samt at det vil ta lengre tid å rette opp skader på kablene hvis denne metoden benyttes. [11].

Transmisjonsnettet består av transmisjonsutstyr, fiberoptiske kabler og radiolinje. Dette er hovedelementet i teleinfrastrukturen til jernbanen, fordi det knytter alle elementene sammen. Jernbaneverket har bygget et eget mobilnett vist i Figur 22, som heter GSM-R. Dette benyttes til



Figur 22 GSM-R og jernbaneterminaler

togradio, og erstatter tidligere analoge kommunikasjonsløsninger. Dette nettet er basert på GSM teknologi, men har en del tilleggsfunksjoner som nødalarm, gruppeanrop og kringkastingsfunksjon. Kravet til systemet er en tilgjengelighet på 99.975 %. GSM-R nettet dekker 100 % av jernbanenettet, også tunneler. For å få kommunikasjon inne i tunneler benyttes strålekabel eller antenner. Radiolinjer kopler også sammen basestasjoner, men det brukes også fiber der det ikke er hensiktsmessig med radiolinje.

7 Brukonstruksjoner

Det største skille mellom jernbanebruer og andre bruer er at jernbanebruer må kunne motstå en relativ stor horisontalkraft uten at det oppstår noen særlig forskyvning og at den tillatte nedbøyningen på grunn av trafikklast er lav [40]. I Jernbaneverkets tekniske regelverk finner man en mengde ulike krav innenfor ballast, laster, spor på bruer, fundamentering og generelle tekniske krav som alle må oppfylles ved prosjektering av jernbanebruer.

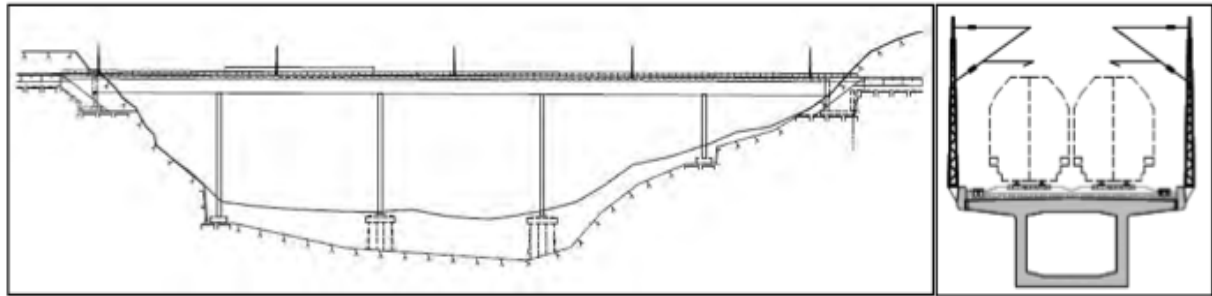
Langs parsell 12.2 er det prosjektert med tre bruer; Gunnarsrød bru (62m), Langangen bru (226m) og Herregårdsbekken bru (35m) [4]. I reguleringsplanen for parsell 12.2 fra 2012 [4] gis det kun en kort og enkel innføring av hver av bruene. Som eksempel på brudimensjonering i rapporten ble det bestemt at Langangen bru skulle brukes. Etter forespørsel av en fullstendig dimensjonering av Langangen bru får vi opplyst at de endelige dimensjoneringsarbeidene er pågående, og at man ikke ønsker å gi ut de foreløpige dimensjoneringsdokumentene [41]. Det som følger er dermed kun en generell innføring av Langangen bru. Figur 23 viser en perspektivtegning av Langangen bru [4].

Langangen bru forbinder Ønnsåsen tunnel med Storberget tunnel og ligger ca. 35 meter over dalbunnen. Den 228 meter lange bruene strekker seg over fem spenn hvor de tre midtre spenn er på 50 meter, mens endespennene er på 39 meter [4]. Dimensjonering skal utføres etter jernbaneverkets tekniske regelverk [24] som finnes under Bruer/Prosjekter og bygging [42].



Figur 23 Perspektiv av Langangen bru [4]

Generelle tekniske krav for bruprosjektering gir retningslinjer og krav til blant annet drenering, ballast og rekkverk. Punkt 4 gir skisseeksempler på brutverrsnitt for både betong- og samvirkekonstruksjoner. For lengder mellom 40m og 200m anbefales det å benytte bru med kassetverrsnitt [40]. Med en lengde på 228 meter skal overbygningen av Langangen bru, i følge reguleringsplanen fra 2012, utføres som et kassetverrsnitt med spennarmert betong [4]. I Figur 24 er det til venstre vist det foreløpige opprisset og til høyre det foreløpige tverrsnittet av bruene [4]. Siste del av de Generelle tekniske krav [40] omfatter regler innenfor dokumenthåndtering for prosjektering og bygging av bruer.



Figur 24 Oppriss og tverrsnitt av Langangen bru [4]

Understøttelsen av bruene utformes som skivesøyler med rektangulære tverrsnitt hvor bredden varierer med høyden. Fundamentering av landkarene skjer direkte på berg, mens fundamenteringen av søylene skal gjøres delvis på berg og delvis på peler til berg [4]. Den fullstendige dimensjoneringen av fundamenteringen utføres i henhold til Bruer/Prosjektering og bygging/Fundamentering fra teknisk regelverk [43]. I den bevegelige enden av brua skal det legges inn glideskjøt i sporet ved landkaret [4]. Overbygning/Prosjektering/Spor fra teknisk regelverk gir krav til blant annet sviller, ballast, ledeskinner og glideskjøter, mens lastdimensjonering utføres i henhold til Bruer/Prosjektering og bygging/Laster [44].

8 Tunnelkonstruksjoner

Som nevnt tidligere er dimensjonering av tunneler en viktig del av prosjekteringsarbeidet ved nyanlegg. Langs parsell 12. 2 skal det bygges 4 tunneler; Skillingsmyr tunnel, Ønnsåsen tunnel, Storberget tunnel og Eidanger tunnel [4]. Dimensjoneringen skal utføres etter Jernbaneverkets tekniske regelverk. Regler og krav som skal benyttes finnes under Underbygning/Prosjektering og bygging/Tunneler [47]. Under følger de punktene i en tunnel dimensjonering som gruppen mente var de viktigste, og er inneforstått med at den totale dimensjoneringen er mye mer omfattende.

8.1 Utforming

Valg av tunnelutforming gjøres på grunnlag av mange faktorer. Tunnelutformingen bestemmes ut fra en RAMS-analyse med ulike kriterier og variabler. Tabell 10 viser disse kriteriene.

Jernbaneverket bruker tre hovedutforminger for tunnelprosjekter [45]:

1. Ett stort dobbeltsporet løp med rømningsveier ut i dagen eller til sikkert område for minimum hver 1000m

2. Ett stort dobbeltsporet løp med en parallell rømnings-/servicetunnel, tverrforbindelser minimum hver 1000m
3. To separate enkeltsporede løp med tverrforbindelse minimum hver 500m

Tabell 10 Rams-analyse, valg av tunnelkonsept [45]

Kriterium	Beskrivelse	Betydning
Trafikktype	Blandet Person Gods	Antall løp Profil
Trafikkmengde	Høy Middels Lav	Antall løp Overbygning Kontaktledning Sikkerhetstiltak
Lengde	Lang Middels Kort	Antall løp Utforming av rømningsveier
Beliggenhet	Høyfjellet Lavlandet Tunnel ved stasjon Tunnel med liten fjelloverdekning	Antall løp Utforming av rømningsvei
Hastighet	300 km/t 250 km/t 200 km/t 160 km/t 100 km/t	Antall løp Profil Portalutforming
Økonomi	Investeringskostnader Livsløpskostnader	Antall løp

Trafikktypen og trafikkmengde bestemmes ut fra dagens situasjon og hvilken fremtidig økning som er forventet og sammensetning av trafikkbildet. Hastighetsnivået spiller inn på geometrien i form av vertikal og horisontal kurvatur. Profil og portalutforming varierer også etter dimensjonert hastighet. Lufttrykk og lufthastighet spiller inn på valg av tunnelkonsept. For et enkeltsporet løp vil det være høyere lufttrykk enn i et dobbeltsporet løp, som kommer av mindre tverrsnittareal i tunnelen. I dobbeltsporede løp vil akseptert møtehastighet for tog være 250km/t. Forebygging av «lufttrykk» og lufthastighets problemer er økning av tunneltverrsnitt, trykkutjevningssjaker og tilpassede tunnelportaler.

Lengden på tunnelstrekningen spiller inn på selve drivingen og driften av ferdig tunnel. En tendens de siste 10-15 åra viser at det er vanlig å velge to enkeltløp for lengder over 10km. For tunneler med lengder over 20km bør det vurderes ekstra sikkerhetstiltak.

Økonomi er alltid en viktig beslutningsfaktor, generelt ligger investeringskostnadene for å bygge to løp 20-30 % over bygging av et dobbeltsporet løp. Dette vil variere ut i fra beliggenhet og geologiske forhold, men kan brukes som en tommelfingerregel. Livsløpskostnadene til prosjektet må også tas med i betraktningen opp mot investeringskostnadene [45]

Beliggenhet er viktig med tanke på resultatet som helhet og ikke minst på hvordan man kommer seg fram til ferdig tunnel. Topografi og geologi har også innvirkning på valg av konsept. For eksempel hvis det ikke er mulighet til rømningsveier ut i dagen eller til annet sikkert sted for hver 1000m, må alternativ 2. med service- og rømningstunnel eller alternativ 3. med enkeltsporede løp velges.

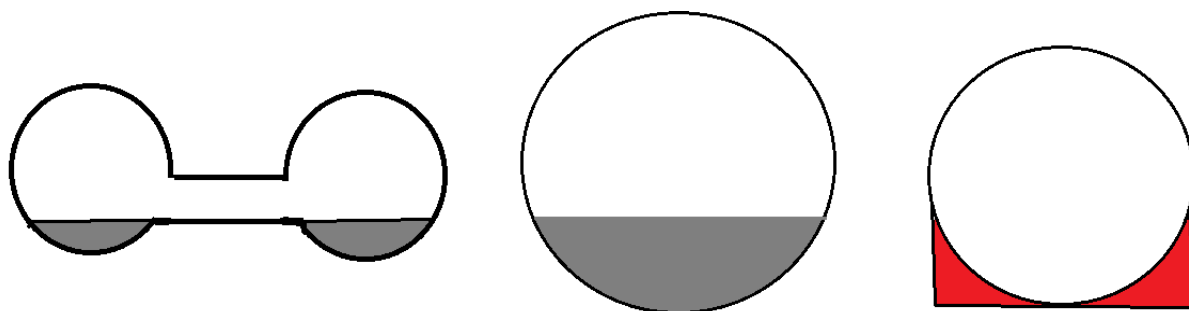
8.2 Drivmetode

Det er to typer drivmetoder for driving av tunneler. Den første og helt klart mest brukte metoden er konvensjonell boring og sprengning, mens den andre metoden er fullprofilboring med TBM, tunnelboremaskin. Historisk sett er konvensjonell boring og sprengning den helt klart mest foretrukne drivmetoden i Norge. Det er flere grunner til dette blant annet tilgang på utstyr, erfaring med drivmetodene og geologien i Norge. TBM driving i Norge har hovedsakelig blitt brukt til driving av vannkrafttunneler og vann- og avløpstunneler fra 70- og fram til 90-tallet.

Ser vi på driving av tunneler for tog har tunnallengde og tunnelkonsept stor innvirkning på valg av drivmetode. Tunnallengden bør være over 5km for at TBM skal kunne lønne seg. Grunnen til dette er at det tar både lang tid å montere TBM og å sette i gang med drivingen. I tillegg kreves det også en mer nøyaktig kartlegging av geologien. Konvensjonell driving vil dermed i de aller fleste tilfeller være den beste løsningen for alle tunnelkonseptene under 5km, mens det for lengder over 5km kan være en god løsning å bruke TBM for tunnel driving. Utvikling av teknologien knyttet til TBM siden de siste gjennomføringer av TBM - prosjekter i Norge gjør at TBM driving står sterkere i konkurransen mot konvensjonell driving som drivmetode. Kapasiteten til TBM i driving i hardt berg har økt, og er dermed bedre tilpasset de geologiske forhold man vil møte på i Norge.

Når det kommer til tunnelkonseptene har TBM helt klart gode forutsetninger som drivmetode for to enkelt løp. Dette er foretrukket løsning for lengre tunneler. For to enkelt løp vil TBM-profilet passe ganske godt tunneltverrsnittet for enkeltspor, slik at det ikke må tilpasses altfor mye etter driving. Velges det å drives et stort profil vil man for TBM driving ha to muligheter. Den første er å drive et så stort profil slik at det gir tilstrekkelig plass eller den andre muligheten som består i å drive et mindre profil og deretter sprengte ut i nederste del av profilet. Figur 25 viser de tre alternativene til TBM utførelse av tunnel.

Velges alternativet med å drive et stort profil vil dette føre til et unødvendig stort profiltverrsnitt som krever mye igjenfylling. Ved å sprengte ut i nederste del av profilet kan det være en utfordring å få et godt ønsket resultat. Derfor er driving av to enkelt løp den beste løsningen hvis man benytter driving med TBM.



Figur 25 Viser tre drivmetoder for løsning med TBM.

Flere fordeler som gjør at TBM er et godt valg er for eksempel ved driving under bebyggelse og steder der vanninnlekkasje ikke er ønskelig. Driving under bebyggelse setter strenge krav til sprengningsrystelser og senkning av grunnvann. TBM har ingen problemer knyttet til dette. For eksempel der det settes krav til null innlekkasje kan det installeres ferdig betongelementer rundt profilet. Andre fordeler ved TBM er raskere driving, mindre behov for sikring og derfor blir ofte de totale drivkostnadene lavere. [46]

Konvensjonell driving som har vært enerådende de siste årene vil bli brukt på tunnelene langs strekningen Larvik-Porsgrunn. Dette er hovedsakelig på grunn av tunnellengdene og til en viss grad at det bygges et felles løp til dobbeltsporet. Konvensjonell driving har også sin fordel under vanskelige forhold, grunnet god erfaring og godt utstyr.

For framtidig utbygging av jernbane i Norge og de krav som settes i forbindelse med økt hastighet osv. vil det bli tunneler som er lengre enn dagens tunneler på grunn av de krav som settes til horisontal og vertikal kurvatur.

8.3 Rømningsveier

Rømningsveier i tunnel er svært viktig. Sikkerhet er noe som settes høyt og togbrann i tunnel vil være katastrofalt. Tunneler deles inn i risikoklasse A, B eller C ut i fra togtetthet, lengde på tunnelen og maksimaltrafikktime (tog/time) [47]. For hver risikoklasse er det krav og føringer som må følges. Storberget tunnel har en lengde på 4680 meter, og kommer inn under klasse B [6]. For klasse B gjelder krav at tunnelen må ha avsporingsindikator, rømningsveier og atkomstveier til tunnelåpninger.

Det er tre hovedkonsepter for valg av rømningsveier; rømningsvei til overflaten minimum hver 1000m, tverrslag hver 500m mellom tunnelløp hvis det bygges to enkeltsporede tunneler/hver 1000m hvis det er parallell rømnings- og servicetunnel eller alternativ løsning som gir tilgang til sikkert område. Et sikkert område kan både være inne i eller utenfor tunnelen. Kravet er at forholdene er overlembare, man har ankomst, man kan evakuere ut på egen hånd eller bli hentet ut av redningstjeneste og at det er lagt til rette for kommunikasjon med mobiltelefon eller fasttelefon til togsentral.

Rømningstunnelene drives etter samme prinsipper som ordinære tunneler, men uten vann- og frostsikring. Geometriske krav følger med tanke på størrelse og forflytning inne i rømningstunnelen.

Kravene til rømningsveier finnes i Jernbaneverkets tekniske regelverk. Eksempler på dette kan være minimum høyde og bredde slik at ambulanse kan komme inn og ut. [47]

Utfordringer ved storstilt utbygging med hastighet ≥ 250 , er at krav til kurvatur gjør at tunneler kan måtte plasseres lengre inne i «fjellet» slik at lengde ut i dagen kan bli svært lang. Man kan da se på muligheten om tilpassede sjakter og ramper kan fungere som rømningsveier ut av tunnelen, hvis man ikke har to enkeltsporede løp eller tverrslag til rømnings- og servicetunnel tunnelkonsept. Lengde ut i dagen kan da reduseres betraktelig og kostnader for bygging av rømningsveier kan bli lavere selv om driving på stig eller synk er mer kostbart [47].

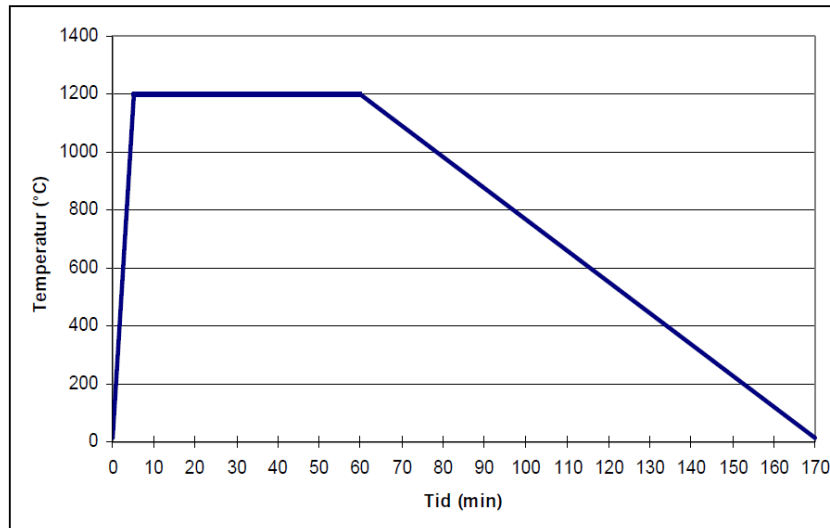
For tunnelene på strekningen Larvik-Porsgrunn er det valgt det første alternativet med et dobbeltsporet løp med rømningsveier ut i dagen. Skillingsmyr tunnel er 3810 meter, Eidanger tunnel en 2080 meter og Storberget tunnel er 4680 meter disse vil ha rømningsveier ut i dagen minimum hver 1000 meter. For Storberget er det også et forslag om parallell rømnings- og servicetunnel med tverrslag hver 1000 meter. De resterende tunnelene er så korte at de ikke har trenger rømningstunneler [15].

8.4 Brannsikring

Jernbaneverket setter to funksjonskrav som tunnelkroppen må oppfylle under en brann:

1. Konstruksjon skal ikke bidra aktivt i en togbrann, ikke bidra til at brannen sprer seg og sørge for at brannen slukker når brannen utløper.
2. Konstruksjonen skal ikke medvirke til ekstra røykeutvikling og ikke avgi giftige gasser.

For å overholde det første funksjonskravet må det tas hensyn til å tunnelkroppens materiale/kledning. I følge Jernbaneverkets tekniske regelverk skal bergmassene dekket med 80mm sprøytebetong, som stiver av tunnelkonstruksjonen og har en sekundær bærende evne [33 47]. Ved en brann vil temperaturøkningen raskt spre seg gjennom sprøytebetongen og inn til bergmassen. Bergmassen i Storberget tunnel består av larvikitt som er et ildfast materialet. Larvikitt kan beholde sin sammensetting ved oppheting opptil 1300 °C i ca 2 timer. Utover dette vil bergmassen bryte sin struktur og det kan løsnes steinbiter. Materialet vil fortsatt beholde sin fasthet og elastisitet under disse omstendigheter [48].

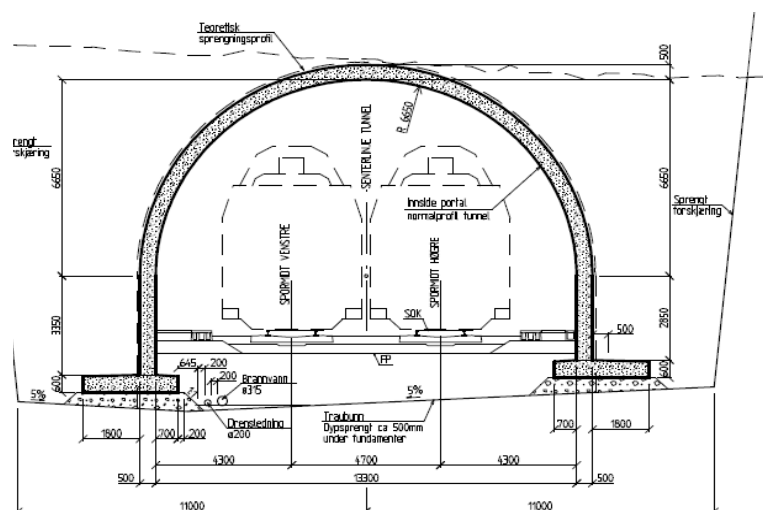


Figur 26 Temperatur mot tid for betongkonstruksjoner [49]

Grafen ovenfor er utarbeidet av Jernbaneverket og viser hvilken temperatur en betongkonstruksjon vil ha til enhver tid under en fullstendig brannutvikling i en tunnel. For Figur 26 legges det til grunn en relativ stor brannlast på 25 MW. Selv om Figur 26 gjelder for betongkonstruksjoner, kan man bruke denne som utgangspunkt i betraktning av temperaturpåvirkningen av bergmassen, larvikitt, under en brann i Storberget tunnel. Ut i fra Figur 26 ser man at en brann vil belaste omliggende tunnelmateriale med opptil 1 200 °C i ca. 1 time, og deretter vil temperaturen synke.

Termisk konduktivitet er materialets evne til å lede varme og berg har en termisk konduktivitet på 2-4 W/Km [50]. Dette er relativt stort, og bergmassen har dermed god evne til å lede varme. Larvikitt vil dermed lede noe av varmen bort fra ulykkestedet, slik at mindre varme bidrar til å varme opp andre konstruksjonsdeler som også kan begynne å brenne. Dette forhindrer at brannen eskaleres i omfang [50], og bergmassen i Storberget tunnel vil beholde sin struktur under brann. Berg har en termisk diffusivitet på ca. $6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, og er forholdet mellom materialets varmeledningsevne og evne til å lagre varme. Den lave termiske diffusiviteten betyr at bergmassene slik at lite varmestråling reflekteres tilbake [51]. Fjellmateriale oppfyller jernbaneverkets første funksjonskrav til tunnelkroppen under brann. Den bidrar altså ikke aktivt til å eskalere brannen videre.

Foruten sprøytebetong inne i tunnelen skal det bygges én tunnelportal av betong i hver ende av Storberget [4]. Slike portaler er en forlengelse av tunnelen og skal skjerme ut-/inngangen for ras. Portalene utformes vanligvis i krum eller rektangulær betong. Alle tunnelportalene langs parsell 12.2 skal utformes likt som vist ved Figur 27.



Figur 27 Typisk tverrsnitt for tunnelportal parsell 12.2 [4]

Betong er det materialet som opprettholder styrken sin under temperaturøkning best av både konstruksjonsstål og tre. Betongen begynner å miste sin styrke allerede ved oppnådde 100 °C. Ved en temperatur på 800 °C har betongen en styrke på 40 % av opprinnelige styrke, og styrken er da å regne som betraktelig svekket. Som Figur 26 viser oppnår betongen raskt 1 200 °C, og styrken til betongen vil da være betraktelig svekket og i faresonen. Eureka har foretatt branntester av togvogner som viser at slik brann kommer opp i en styrke på 12-19 MW [52]. Til grunn for resultatene i Figur 26 er det brukt en brann med styrke på 25 MW. Dette betyr at resultatene i Figur 26 er konservative og at sannsynligheten er liten for at en tunnelbrann oppnår en slik effekt.

En tunnelportal skal ikke bære mange andre laster enn egenlast. Eventuelle vindlaster kan ha virkning på tunnelportalen, men med en liten størrelsesorden er den ubetydelig. Eventuell snø vil gli ned naturlig ved en brann. De statiske lastene som skal dimensjoneres for ved en brann er dermed egenlasten i form av betong og stålarmring.

Betong har en termisk konduktivitet på 1,7 W/Km som er mindre enn hva bergmasser har som varmeledningsevne, men som er stor i forhold til hva annet byggmateriale har som termisk konduktivitet [53]. Den har dermed en god evne til å lede varme bort i fra brannstedet, og forhindrer da at varmen bidrar til å eskalere brannen. Betong har også høy varmekapasitet slik at den har god evne til å ta til seg varmen som oppstår under en brann. Det er både fordeler og ulemper med det; den tar bort varmeenergi i fra brannen som forhindrer videre brannspredelse, men til gjengjeld øker temperaturen i selve betongen .

Armering av stål benyttes for å forbedre strekkstyrken til betongen, men armeringen i seg selv er sårbar for brann. Under en brann ledes varmen fra betongen til stålet. Stål har en stor varmeledningsevne, og varmen sprer seg fort. Ved oppvarming vil stålet utvide seg, og dette kan føre til at betongen sprekker opp, og at armeringen blir eksponert for direkte brann. Den kritiske temperaturen for både betong og armeringen er 500 °C [54]. Det er derfor viktig å sørge for tilstrekkelig med overdekning av armeringen under prosjekteringsfasen.

Det oppstår heller ingen ekstra røyk og giftige avgasser fra betongen slik at det andre kravet fra jernbaneanverket også tilfredstilles ved bruk av betong i tunnelen og som materiale til portalene.

8.5 Brannventilasjon

Det skal etter planfase UVB Vestfoldbanen installeres brannvifter for å lede røyk ut av Storberget tunnel. Den brannen Norconsult har lagt til grunn for dimensjonering av ventilasjonssystemet er 30 MW [55] og en fortregningshastighet for luft på 3,5 m/s. For Storberget tunnel har Norconsult utarbeidet et forslag på 12 enkeltvise vifter som yter 576 kW eller 24 parvise vifter som yter 456 kW. Disse skal yte en skyvekraft av røyken på 17 520 N.

8.6 Vindkrefter

I det et tog entrer en tunnel forflyttes luftmasser. Luftmassene er i ro før toget kommer inn i tunnelen, mens etter at toget er inne i tunnelen vil luften akselerer opp til en hastighet i underkant av togets hastighet. Maksimal fart i Storberget tunnel er 250 km/t, og i underkant av denne hastigheten vil luften maksimalt oppnå. Konstruksjonsdeler inne i tunnelen vil bli utsatt for vindlast, og må dimensjoneres for dette i innfestningen. De ulike delene er [56]:

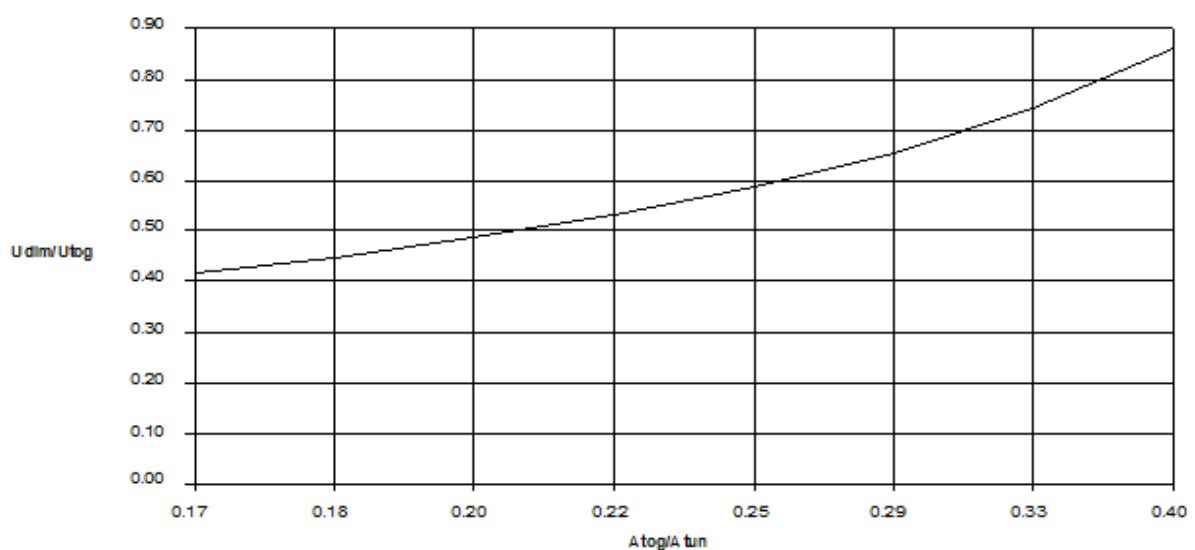
- Signallys
- Skilt
- Lysarmatur
- Kontaktledning og kontaktledningsopplegg
- Andre konstruksjoner

Vindkraft på de ulike konstruksjonselementene regnes etter følgende formel [56]: $F = \mu \cdot q \cdot A$

- μ er en formfaktor basert på type installasjon:
kontaktledning $\mu = 1.2$
kontaktledningsoppheng $\mu = 0.9$
skilt/signallys $\mu = 1.15$
skiltstang $\mu = 1.2$
- q er hastighetsuttrykket $q = 0,5 \cdot \rho \cdot U_{dim}^2$
- $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
- A er arealet av den belastete flaten som det skal beregnes vindlast for
- U_{dim} er lufthastigheten i lengderetningen

U_{dim} er avhengig om sporkonstruksjonen er dobbeltsporet eller enkeltsporet. Jo større tunnelen er, desto mindre blir lufthastigheten. Ved dobbeltsporet jernbanetunnel får man derfor mindre vindhastighet i tunnelen, som resulterer i mindre vindlaster. Vindhastigheten bestemmes ut i fra arealforholdet mellom togene og tunnelen.

For å finne vindhastigheten i tunnelen, må man beregne blokkeringsgraden β . For en dobbeltsporet tunnel slik som Storberget, vil β være gitt ved $(A_{tog1} + A_{tog2})/A_{tunnel}$. Ut i fra blokkeringsgraden kan man lese av forholdet U_{dim}/U_{tog} , som da gir dimensjonerende hastighet på luften. Ved hjelp av β kan man benytte Figur 28 og lese av U_{dim}/U_{tog} og til slutt finne U_{dim} [56].



Figur 28 Forholdet mellom fart og areal [56]

For parsell 12.2 har Norconsult regnet med en persontogstørrelse med tverrsnitt på 12 m², som er basert på togtypen Flirt NO1 BMa [57]. Det er beregnet en friksjonsfaktor for tog på 0.005 og en friksjonsfaktor for tunnel til 0.008. For Storberget tunnel er det regnet med tunneltverrsnitt fra 50-100 m² ut i fra hvilke forskjellige tiltak som kan settes inn. Et tunneltverrsnitt på for eksempel 75 m² gir en blokkeringsgrad $\beta = (12 \cdot 2) / 75 = 0.32$ som gir $U_{dim} 0.71 \cdot 250 = 177.5$ km/t.

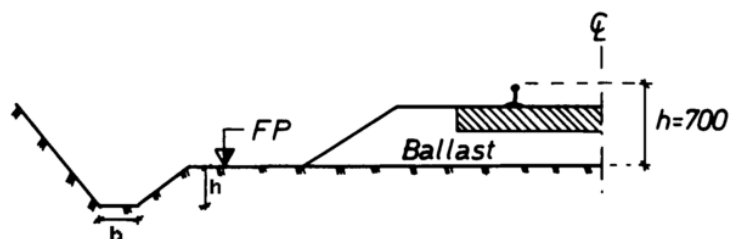
8.7 Vannavrenning

I følge Jernbaneverkets regler tillates det ikke vanndrypp på skinnegang eller elektriske installasjoner. For tunnelene mellom Farriseidet og Porsgrunn skal all innlekkasje derfor ledes ned til dreneringsgrøften av vann – og frostsikringen som består av PE-skumplater og overdekning av sprøytebetong [26]. Vann har en eroderende virkning, og kan grave bort deler av underbygningen. Ved gjentatt utgravninger og sykliske belastninger av tog kan det føre til brudd på skinnegangen og avsporing. En annen viktig side med vanninnlekkasje er hvordan grunnvannsnivået vil endre seg. Uønsket senkning av grunnvannet kan føre til skader på bygninger, forstyrrelse av brønner og påvirkning av naturområder. Grundig kartlegging og observasjon av grunnvannsnivået under driving er viktig for å hindre dette. Langs Storberget tunnel er det to vann som kan bli påvirket av drenering, samt en viktig biotop. Under disse områdene må innlekkasje holdes til et minimum. Disse områdene vil bli tettet med forinjeksjon [15].

I området rundt Storberget tunnelen er årsmiddelavrenning rundt 17 l/s*km². Avrenningen varierer naturlig etter årstiden, og anslagsvis forekommer 20 % av årsmiddelavrenningen i løpet av sommermåneden [38].

For å drenere bort vannet må det prosjekteres inn dreneringsgrøfter. Det er mest hensiktsmessig med en dreneringsgrøft på hver ytterside av togsporet når grunnen er i frostsonen. I frostfri sonen holder det med grøft på den ene siden av dobbeltsporet. Mellom dobbeltsporene bør det anlegges en grøft gjennom hele tunnelen. Der kan vann lett samles opp og tære innpå underbygningen. Det finnes to hovedtyper i utforming av dreneringsgrøfter, åpne og lukkede grøfter. [58]

Åpne dreneringsgrøfter er den type drenering som er enklest å utføre i praksis. I en tunnel utføres den som en del av skjæringen i tunnelen. En unngår da mye graving inne i tunnelen, og frakting av masser ut av tunnelen. En slipper da også å bringe inn i tunnelen drenerende masse og planere ut dette. Åpne grøfter er altså den enkleste og billigste måten å drenere vann ut av tunnelen. Åpne grøfter utformes som vist på Figur 29 nedenfor:

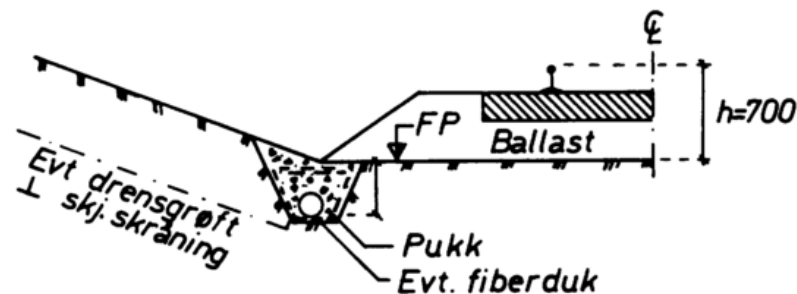


Figur 29 Åpen dreneringsgrøft [59]

Lukkete grøfter er den gunstigste løsningen i tunnel på grunn av den permeable og absorberende evnen dreneringsmassen har. Til gjengjeld er lukket grøft også betraktelig dyrere enn åpen grøft [47].

Dette innebærer å ha en drenerende masse som absorberer vannet som oppstår i tunnelen, og deretter leder vannet sikkert ut av tunnelen. De drenerende massene består av pukk som må ha en minste størrelse slik at tilstrekkeligporevolum i dreneringsmassene opprettholdes og vannet føres direkte til dreneringsrøret. Fiberduk er et effektivt tiltak for å sikre en adskillelse av dreneringsmassen og massen rundt underbygningen. Drensrøret bør bestå enten av plast PVC/PE- eller av betong. En indre rørdiameter som ligger mellom 100-600 mm er tilstrekkelig for å føre vekk vannet som til enhver tid oppstår inne i Storberget tunnelen. Det må utføres konkrete beregninger av vannmengder som kan oppstå i Storberget tunnel, og dimensjonere drensrøret etter denne vannføringen. Røret må være utformet med spalter langs røret for å slippe vannet inn eller ved betongrør sørge for klipper i mellom for å slippe vannet til.

Drensgrøften må legges med et fall på minimum 5 ‰ for å sikre jevn flyt av vannet. Lukket grøft utformes som vist på nedenfor.



Figur 30 Lukket dreneringsgrøft [60]

Den mest vanlige måten å anlegge lukket drensrør på i en dobbeltsporet tunnel er ved å anlegge et rør ved yttersiden av trasen [58]. Deretter legges det drenerende pukk under begge overbygningene til dobbeltsporet, og grunnfjellet skjæres i tverrsnittet med et fall mot siden til drensrøret. Denne detaljen utføres for å sikre at alt vann som oppstår inne i tunnelen til slutt renner direkte mot drensrøret. På denne måten trenger man kun å anlegge ett drensrør, men må frakte inn en del drenerende pukkmasse og muligens fiberduk.

8.8 Banestrøm

I Norge er det i skrivende stund ikke bygget tunneler med AT-system, slik Storberget tunnel vil være en av de første tunnelene med dette systemet i Norge. Av mangel på erfaringsdata vil de neste avsnittene derfor se på mulige metoder for fremføring av AT-kabler, og vil konkludere med hvordan dette bør bli gjort.

Det største problemet med tunneler er naturlignok mangel på høyde under taket. På grunn av dette vil det være vanskelig å bygge like høye KL-master som utenfor tunnelen, og man støter derfor på problemer knyttet til vedlikehold.

Tabell 11 Alternative måter å føre AT-ledere gjennom tunneler og snøoverbygg [35]

Type	Forlegning
Høyspentkabel i betongkanal	Nede i ballasten, helt ut til siden
Høyspentkabel festet på vegg	Kabelsadel og kabeljern. Forlegges høyt oppe i tunneltaket

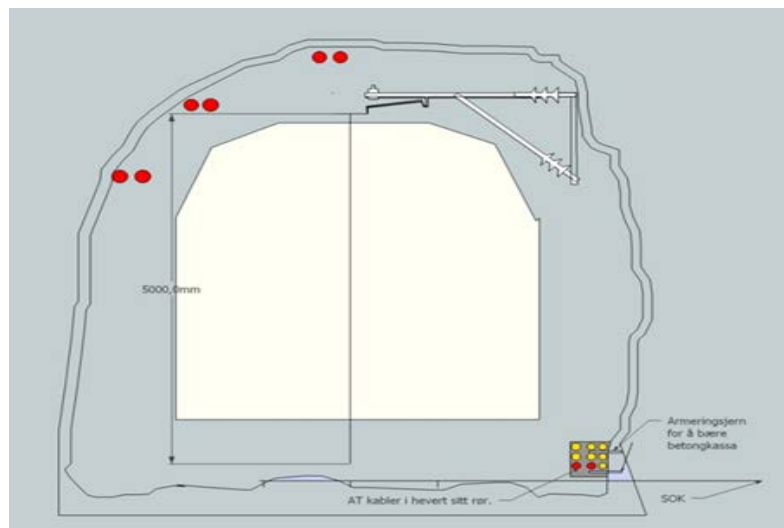
Hengekabel	Selvbærende kabel henges opp i tunneltaket eller veggen. (Kabel med innstøpt bæreline vil være vanskelig å lage sterk nok med halogenfri plast og selve bæretråden er et problem for sporfeltene. denne typen anbefales derfor ikke)
Høyspentkabel i nedgravd rør	Rør med kabel graves ned i ballasten
Blank line	Festes på isolatorer i tunneltaket i høyde noe over kontaktledningsanlegget

Som vist i Tabell 11 er det flere forskjellige måter å føre kablene gjennom tunnel. De som ansees som mest aktuelle er. Se Figur 31 [31]:

- Hengekabel
- Høyspentkabel i plastkanal
- Høyspentkabel i betongkanal kan være et alternativ der det er god plass i bunnen av tunnelen
- Høyspentkabel i rør, her vurdert nedstøpt i betong for å beskytte rørene ved pakking av sporet

Den andre mulige løsningene er forkastet. Blank linje på isolator vil utgjøre en stor ulempe ved arbeid på kontaktledningene. Høyspentkabel klamret direkte på vegg vil være vanskelig siden ujevne tunnelvegger umuliggjør å feste de stive høyspentkablene uten store ekstrakostnader.

I eksisterende tunneler vil det være lokale forhold som bestemmer hvilke løsninger som vil bli brukt ved for eksempel oppgradering til AT-systemet. Dette vil være kostnader, RAMS-analyse, vedlikehold og så videre.



Figur 31 AT-kabler i tunnel [31]

I nye tunneler som Storberget tunnel vil prosjekteringen ta hensyn til kablene fra starten av, og kabel i betongkanal vil være en naturlig løsning med mindre det foreligger forhold som tilsier noe annet [61].

Det er flere problemer med fritthengende kabler i tunneler. I tunneler (og snøoverbygg) er det mulighet for vanninntrenging, oppbygging av issvuller og dårlig fjellkvalitet. Summen av disse ytre forutsetningene medfører at alle kabelføringer trenger mekanisk beskyttelse. En mekanisk beskyttelse, i form av en kanal, gir en mekanisk tilleggsbarriere som beskytter mot ytre skade på kablene. Forlegning i kanaler vil også ha en bedre sikkerhet mot nedsmussing av kablene, med mulig varmegang som konsekvens.

Betongkanalen må på grunn av de høye spenningene bli bygget solide, noe som er dyrt. I tillegg må man ha overganger på begge sidene av tunnelen mellom luftspenn og kabel. Av RAMS-analysen som er gjort i Tabell 11 så vil likevel dette være ønskelig, og det anbefales derfor å installere AT-systemet på denne måten i Storberget tunnel.

8.9 Transmisjons- tele- og lavspenningsanlegg

Alle kabler som skal brukes i tunnel skal være halogenfrie. Dette gjelder også jordledere, beskyttelsesledere, fastledere og returledere. Alle kabler bør også være selvslukkende, enten ved at de legges i en kanal, eller ved at de har egenskaper for selvslukking. Kanalene skal være i betong eller annet materiale, som er brannbeskyttende for kablene.

Det skal bygges kabelkanaler i betong på begge sider av banen på parsell 12.2, for å legge lavspent strømforsyning, telekabler til intern kommunikasjon og signal- og sikringsanlegg. Kravet til kabler i tunnel er at returledninger må legges adskilt fra tele- og signalkabler, så da må det velges 2-sidige kabelkanaler i alle tunnelene. Da strekningene mellom tunellene, dagsoner, er så korte, er det valgt å legge 2-sidige kanaler gjennom hele parsellen [38].

For viktige sikkerhetsinstallasjoner i tunnel, som kommunikasjon og nødlis, skal det benyttes en funksjonssikker kabel som opprettholder kabelens funksjon til evakueringen er gjennomført. Disse kablene bør legges på steder i tunnelprofilet der det ikke forventes stor varmebelastning fra en eventuell brann. Også fiberoptiske kabler bør sikres mot skader fra brann.

En fullgod kommunikasjon vil kunne redusere konsekvensene av ulykker, ved at ulykker blir varslet så tidlig som mulig, og skadestedsleder vil kunne bli oppdatert om utviklingen til ulykken og redningsarbeidet til en hver tid. Kommunikasjon er imidlertid en forutsetning for ethvert redningsarbeid, og er derfor et selvskrevet tiltak [62].

Teleanleggene består av telefon, blokktelefon, nødtelefon, radio og transmisjonsanlegg. Alle anlegg skal forsynes fra Porsgrunn stasjon. Det skal etableres egne sentraler i teleteknisk hus ved vestre påhugg på Eidanger tunnel. Samtlige systemer vil bli distribuert via fiber. Alle tunneler skal utstyres med nødtelefon for hver 600 m. Mellom Larvik og Porsgrunn vil all transmisjon overføres på fiber, og alle telefoner planlegges terminert direkte fra fiber. Teleanleggene omfatter følgende radiosystemer [38]:

- Togrado
- Vedlikeholdsradio
- 160MHz nødsamband, kun dekning i tunnelen

Alle rømningsveier i tunnel skal ha dekning for GSM-R og talekvaliteten, RxQual, skal ikke ha lavere verdi enn 3. Tunnelradioanlegg skal ha separat kurs, gi nødvendig dekning og ha plass til utstyr og antenner som skal dekke behovet for nødtelefoner og minst to kommersielle teleoperatører. Når det skal bygges tunneler, skal det tilrettelegges for dagens nødradiosystemer. Signalnivå for GSM-R i tunneler skal ikke være lavere enn -77 dBm, målt 1,5 m over skinnegangen [39].

I følge kravene til GSM-R dekingen i tunneler, vil radiokommunikasjon mellom tog og togledersentral alltid være tilgjengelig. Det skal tilrettelegges for kontinuerlig radiodekning, med signalmating fra to sider, slik at beredskapspersonell kan kommunisere med sin beredskapsledelse. Beredskapspersonell skal kunne benytte eget kommunikasjonsutstyr. I rømningsveiene skal det også være mulig å benytte mobiltelefon. Nødtelefon skal ikke etableres i en tunnel, med mindre det er særskilt behov for dette. Et slikt behov skal i så fall dokumenteres [47].

Nødsambandet på 160MHz benytter strålekoaksialkabel, mens togradio og vedlikeholdsradio benytter antenner. Repeaterne for alle 3 systemene forsynes via fiber. For togradio og vedlikeholdsradio etableres egne sentraler i teleteknisk hus ved vestre påhugg på Eidanger Tunnel. UPS for teleanlegget er dimensjonert for 2 timer. Det er forberedt for følgende radiosystemer [38]:

- NMT 450
- TETRA 380
- GSM 900
- GSM-R
- GSM 1800
- UMTS

En av forutsetningene for at assistert evakuering i tunnel skal fungere, er at det finnes gode kommunikasjonslinjer mellom skadested, beredskapssenter og beredskapsmannskap. De kravene som stilles er at det skal være fullgod kommunikasjon mellom personell og tog, og beredskapssenter og redningsmannskap som er på vei til skadestedet. Kommunikasjonssystemets funksjonalitet må være motstandsdyktige mot følgevirkningene av ulykker, samt at lokale skader på utstyr ikke må lede til at kommunikasjonen svekkes over lengre strekninger. For å unngå at et brennende tog må stoppe for å gi beskjed til beredskapssenteret, må kommunikasjonsutstyret virke under fart [62].

Lavspenningsanleggene skal dekke nødlys, sporvekselvarme, sporvekselbelysning, reservestrøm og strømforsyning. Det er forutsatt 22/0,23 kV IT (50 Hz) strømforsyning for denne parsellen. Det skal etableres komplett nødlysanlegg for Storberget tunell. Armaturene skal forsynes via funksjonssikker kabel. Denne er lagt i kabelkanal og forsynes fra underfordelinger med en innbyrdes avstand på ca. 600 m. Underfordelingene inneholder UPS som ivaretar strømtilførsel til nødlyset ved bortfall av primærstrøm [38].

Det prosjekteres strømforsyning til nødlys for rømningsveier i hovedtunnelen og i rømningstunnelene til storberget tunell. Nødbelysningen består av ledelys for en sikker evakuering via rømningsveier og markeringslys for belysning av anvisningsskilt og sikkerhetsutstyr. Det skal etableres komplett nødlysanlegg for alle tunnelene. Nødlys bygges i 50 m seksjoner, og etableres

med primær forsyning fra UPS med sekundær forsyning fra nettet via funksjonssikker kabel. Anleggene skal prosjekteres i henhold til Jernbaneverkets krav fra teknisk regelverk [64].

Det etableres UPS for teleinstallasjoner, nødlys i tunneler og rømningstunneler og for sikringsanlegget [63]. UPS står for Uninterruptible Power Supply og kalles ofte på norsk avbruddsfri strømforsyning. Dette er en enhet som opprettholder en kontinuerlig leveranse av elektrisk kraft til det tilkoblede utstyret, selv når den eksterne strømforsyningen svikter [64]. UPS skal ha 8 timers batteritid for teleinstallasjoner, 2 timers batteritid for nødlys, og 6 timers batteritid for sikringsanlegget. Reservestrøm for sikringsanlegget ivaretas av UPS, så det etableres ikke reservestrømstrafoer som er forsynt fra kontaktledningsanlegget [63].

Nødlys skal monteres i alle tunneler lengre enn 500 m, og skal finnes på begge sider i tunneler med dobbeltspor. I enkeltsporede tunneler skal nødlys monteres på samme side som gangbane. Nødlys skal sikre at det er lys under hele evakueringsperioden, samt at det er tilstrekkelig lys til at sikker evakuering kan gjennomføres. Lysstyrken skal være minimum 1 lux på gangbanenivå. Nødlys kan også være basert på annen teknologi enn elektrisitet, så lenge dette oppfyller de nødvendige funksjonene [47].

9 Samfunnsnyttene ved utbygging av dobbeltspor

Prognoser viser at det sentrale østlandsområdet vil ha en stor vekst i folketallet de kommende 10-årene. Et stort løft på jernbanen vil kunne ta unna det store transportbehovet dette vil føre med seg. Utbygging vil også knytte det sentrale østlandsområdet mer sammen ved et bedre kollektiv tilbud. Buss- og arbeidssituasjonen langs Intercity strekningen vil få et løft. Fullt utbygd Intercity vil i praksis gi en sammenhengende «2-millionersby». Det viktige da er steder toget faktisk vil stoppe, slik at flest mulig kan benytte seg av togtilbudet. Intercity tilbudet på Vestfoldbanen plukker med seg alle de store byene og tettstedene. Framtidig videreføring og sammenkobling til Sørlandsbanen gjør Vestfoldbanen til en viktig brikke i utviklingen av et bedre togtilbud langs sørlandskysten. [2]

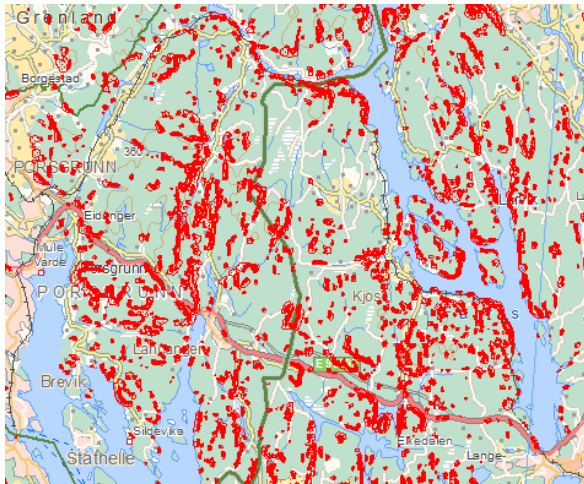
Antall reisende på den nye Vestfoldbanen fra Oslo-Skien vil være rundt 9,5 millioner hvert år mot dagens 4,8 millioner reisende. Antall reisende fra de ulike stasjonene regnes med vil øke fra 50-100 % fra hver stasjon. Hovedsakelig vil redusert reisetid og hyppigere avganger bidra til dette. Antall avganger på Intercitytog vil være fire tog per time, i tillegg til et eller to fjerntog eller høyhastighetstog. Reisetiden fra Oslo til Porsgrunn vil reduseres fra 2 timer og 45 minutter til 1 time og 36 minutter. Reisetiden fra Larvik til Porsgrunn vil kun være 12 minutter mot dagens 34 minutter. Denne korte reise tiden og hyppige avganger vil gi et godt tilbud til pendlere. Tilknytning til lokal kollektivtransport vil også gi positiv virkning. Et mer attraktivt pendlertilbud vil kunne avlaste veinettet og spare miljøet. Miljømessig vil Vestfoldbanen gi en reduksjon i utslipp av CO₂ på rundt 15000 tonn per år og vil være klimanøytral etter ca 8 år. [65]

Dobbeltspor utbygging vil gi betydelig økt kapasitet som vil styrke godstrafikken langs strekningen. Prognoser for folketallsutviklingen vil øke behovet for frakt av gods og at jernbanen kan ta store deler av denne økningen vil slå positivt ut. Dette reduserer belastningen på veiene og sparer miljøet. Godsnæringen vil da styrke sin posisjon ved den økte kapasiteten utbyggingen fører med seg og punktlighet er også viktig her. Strenge kundekrav til når varene blir levert vil nå bli bedre ivaretatt. Godstog blir ofte nedprioritert på enkeltspor med sprengt kapasitet og dette går ut over kundegrunnlaget som flytter over på vei.

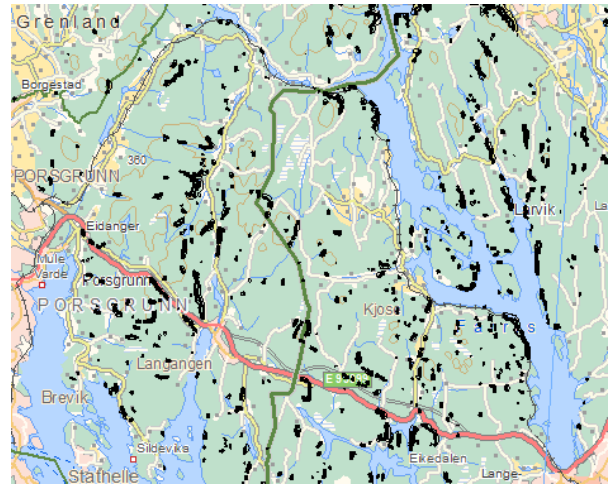
Utbyggingen av Vestfoldbanen er beregnet til en kostnad på rundt 40 milliarder kr. Strekningen Larvik-Porsgrunn har en forventet kostnad på 6,1 milliarder og en byggetid på 5 år [66]. Vedlikeholdskostnadene på strekningen vurderes til å ligge rundt de gjennomsnittlige vedlikeholdskostnadene til Jernbaneverket. Stor tunnelandel på strekningen gir mer utrustning å vedlikeholde, men gir samtidig mindre utgifter knyttet til vintervedlikehold. Det antas at dette oppveier hverandre. Med en årlig kostnad på vedlikeholdet på 350 NOK per hovedspormeter per år (prisnivå 2005) gir det en samlet vedlikeholdskostnad for Farriseidet-Porsgrunn på rundt 16,1 Mill per år. Utgiftene knyttet til fornyelse av linjen vil være lave de første årene, men sett i et 50-årsperspektiv vil det trenge fornyelser av de fleste systemene. Årlig er fornyelseskostnadene 100 NOK per spormeter, noe som utgjør 4,6 Mill per år i gjennomsnitt. Totalt gir dette 20,7 Mill per år i drifts-, vedlikeholds- og fornyelses- kostnader. (2005 prisnivå) [67]

En indirekte positiv effekt at den nye strekningen Larvik-Porsgrunn bygges er at eksisterende bane legges ned. Eksisterende bane er en stor barriere langs Farrisvannet og det vil bli bedre tilgang til Farrisvannet og ikke minst vil de mange dårlig sikrede planovergangene legges ned. Dette vil gi gode ringvirkninger lokalt. Store deler av dagens trase langs Farrisvannet har skråningshelning som er over

30 grader, der det er stor skredfare. Knytter man den eksisterende linjeføringen langs Farrisvannet opp mot skredkart, se Figur 33 og Figur 32 fra NVE, ser en at dette er en strekning der det går mye steinsprang og snøskred. Skred som stenger linjen og ødeleggelse av materiell er det dessverre altfor mange eksempler av.



Figur 33 Snøskred langs eksisterende linje [68]



Figur 32 Steinsprang langs eksisterende linje [68]

Figur 34 og Figur 35 viser skredskader langs Farrisvannet. Den lave påliteligheten på linja langs Farrisvannet har gjort at pendler- og godstrafikken har vært lite attraktiv.



Figur 34 Snøskred ved Sandvikodden, dekket linjen rundt 100-150 meter [70]



Figur 35 Skade på tog, Skien - Lillehammer [69]

De senere års strengere krav til sikkerhet og pålitelighet og ikke minst kortere reisetid vil løses ved utbygging av Larvik-Porsgrunn.

Det videre arbeid vil bestå av å fullføre den fullstendige ferdigstilling av dimensjoneringsplaner for alle bru – og tunnelkonstruksjoner langs parsellen. I tillegg må all utarbeiding av anbud og vurdering av innkomne anbudstilbud gjøres ferdig, slik at Vestfoldbanen kan bli klar til byggestart som er høsten 2012.

«Norge blir bedre sted å være når transporten går på dobbelskiner!»

10 Konklusjon

Arbeidet med fagrapporten har vært en lærerik prosess for hele gruppen. Det har gitt en forståelse for hvor mye planlegging og nøyaktige målinger og beregninger som må utføres før den faktiske utbyggingen kan starte. Strekningen Farriseidet til Porsgrunn har som nevnt byggestart 2012, og de fleste som jobber på dette prosjektet har det derfor ekstra travelt. Det tok derfor lang tid før vi fikk kontakt med prosjekteringsleder og da vi til slutt fikk kontakt ville de heller ikke sende de ønskede dokumentene fordi den fullstendige dimensjoneringen ikke var fullført. I ettertid ser vi at dette muligens kunne vært løst ved å velge en annen parsell på Vestfoldbanen, men det var for sent å bytte da vi var kommet godt i gang med prosjektet.

Et dokument vi savnet, men ikke fikk oversendt var dimensjoneringen av Storberget tunnel. For denne tunnelen hadde vi kun til rådighet ulike reguleringsplaner og detaljplaner for parsell 12.2. På de områdene hvor det ikke fantes dokumentasjon valgte derfor gruppen å skrive om ulike metoder for løsninger og til slutt gi en anbefaling av hvilken metode som burde benyttes for Storberget tunnel.

Gruppearbeidet har vært lærerikt når det gjelder det faglige, men det har også vært svært lærerikt å måtte samarbeide med ukjente personer med en helt annen bakgrunn enn en selv. Ved å velge et såpass konkret tema har gruppen lært mye om hverandres fagfelt, men også tilegnet seg kunnskap om sitt eget fagfelt gjennom diskusjoner i gruppen og med Jernbaneverket.

Kilder

[1] Myckland, Henning (01.02.12). *Høyhastighet – eller høy hastighet ? ”Ekspertene i Team”*. Foredrag fra seminar i Stjørdal.

[2] Haugen, Anne Siri (21.09.2011). *Intercity-satsing på jernbane vil utvide bo- og arbeidsområdene*. <http://www.jernbaneverket.no/no/Prosjekter/Inter-City-/Mulighetsstudien1/Intercity-satsing-pa-jernbane-vil-utvide-bo--og-arbeidsomradene/>

[3] Evensen, Trine K. Bratlie (02.03.2012). *En moderne Vestfoldbane*. <http://www.jernbaneverket.no/no/Prosjekter/Prosjekter/Dette-er-Vestfoldbanen/Bakgrunn/En-moderne-Vestfoldbane-/>

[4] Sweco, Jernbaneverket (10.02.12). *Reguleringsplan for Vestfoldbanen parsell 12.2 dobbeltspor – med endring (Porsgrunn kommune)*. <http://www.jernbaneverket.no/no/Prosjekter/Prosjekter/Dette-er-Vestfoldbanen/Farriseidet---Porsgrunn/Offentlig-ettersyn-av-reguleringsplan-i-Porsgrunn/>

[5] Fagerheim, Freddy Samson (27.10.2009). *Vestfoldbanen*. <http://www.jernbaneverket.no/no/Prosjekter/Prosjekter/Dette-er-Vestfoldbanen/>

[6] Jernbaneverket (1999). *Hovedplan for Parsell 12 Vestfoldbanen Farriseidet – Porsgrunn*.

[7] Melleby, Bjørn (13.10.2010). *Ny jernbane Farriseidet – Porsgrunn*. <http://www.jernbaneverket.no/no/Prosjekter/Prosjekter/Dette-er-Vestfoldbanen/Farriseidet---Porsgrunn/Arkiv/Ny-jernbane-Farriseidet-Porsgrunn/>

[8] Jernbaneverket (2009). *Program for tilleggsutredninger dobbeltspor Farriseidet – Porsgrunn Vestfoldbanen parsell 12*. <http://www.jernbaneverket.no/no/Prosjekter/Prosjekter/Dette-er-Vestfoldbanen/Farriseidet---Porsgrunn/Arkiv/Regulerer-dobbeltspor/>

[9] Jernbaneverket Utbygging (2010). *Brosjyre; Nytt dobbeltspor Farriseidet – Porsgrunn*. <http://www.jernbaneverket.no/no/verktoy/Sok/?searchquery=Nytt%20dobbeltspor%20Farriseidet%20%E2%80%93%20Porsgrunn> (Link: Nytt dobbeltspor)

[10] Svingheim, Njål (05.09.2011). *Byggestart Larvik – Porsgrunn neste år*. <http://www.jernbaneverket.no/no/Nyheter/Nyhetsarkiv/2011/Byggestart-Larvik---Porsgrunn-neste-ar/>

[11] Jernbaneverket (Januar 2011). *Slik fungerer jernbanen*. <http://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=slik+fungerer+jernbanen+en+presentasjon+av&source=web&cd=1&ved=0CCIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.jernbaneverket.no%2Fno%2Fdokumenter%2F2011%2FJernbanen%2FSlik-fungerer-jernbanen%2F&ei=PKI7T5zCJYafOsbbvN8C&usq=AFQjCNGJQ1z-6LNpAWCHnJa2-vqYLz9ftg&sig2=Onfkjti5V0xP04oDG0zaag>

[12] Jernbaneverkets tekniske regelverk (Sist endret 01.03.12). *Hovedside*. <https://trv.jbv.no/wiki/Hovedside>

[13] Statens Vegvesen (2010), *Håndbok 21 Veitunneler*. <http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker>

[14] Vegdirektoratet (2003). *Riktig omfang av undersøkelser for berganlegg, publikasjon 101*.

- [15] Jernbaneverket (2002). *Detaljplan Bygg/bane Planbeskrivelse, Planhefte 1.*
- [16] Jernbaneverkets tekniske regelverk (Sist endret 15.03.12). *Overbygning/Prosjektering/Generelle tekniske krav.* https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Generelle_tekniske_krav
- [17] Jernbaneverkets tekniske regelverk (Sist endret 29.03.12). *Overbygning/Vedlikehold/Sporjustering og stabilisering.*
https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Vedlikehold/Sporjustering_og_stabilisering
- [18] Jernbaneverkets tekniske regelverk (Sist endret 30.12.11). *Overbygning/Prosjektering/Utfesting og fastmerkenett.* https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Utfesting_og_fastmerkenett
- [19] Jernbaneverkets tekniske regelverk (Sist endret 13.12.11). *Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Skinneprofiler.*
<https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Skinneprofiler>
- [20] Jernbaneverkets tekniske regelverk (Sist endret 21.03.12). *Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner.*
<https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner>
- [21] Jernbaneverkets tekniske regelverk (Sist endret 13.12.11). *Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sviller.*
https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sviller#SPENNBETO_NGSVILLE_NSB_95
- [22] Jernbaneverkets tekniske regelverk (Sist endret 27.12.11). *Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Befestigelse.*
<https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Befestigelse>
- [23] Jernbaneverkets tekniske regelverk (Sist endret 12.12.11). *Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sporkonstruksjoner.*
<https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporkonstruksjoner/Vedlegg/Sporkonstruksjoner>
- [24] Jernbaneverkets tekniske regelverk (Sist endret 07.02.12). *Overbygning/Prosjektering/Sporveksler.*
<https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporveksler>
- [25] Jernbaneverkets tekniske regelverk (Sist endret 20.12.11). *Overbygning/Prosjektering/Ballast.*
<https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Ballast>
- [26] Jernbaneverket (18.10.2011). *Ordforklaringer.*
<http://www.jernbaneverket.no/no/Jernbanen/Jernbanedrift---eit-komplisert-samspel/Ordforklaringer/>
- [27] Östlund , Stefan og Leksell, Mats. (1993) *Elektrisk traktionsteknik*, Tekniska högskolan, Stockholm
- [28] Jernbaneverket (13.03.2012). *Banestrømforsyning/Prosjektering/Energiforsyning*
<https://trv.jbv.no/wiki/Banestrømforsyning/Prosjektering/Energiforsyning#Spenningskrav>
- [29] Bane Energi (20.09.2005). *Fremtidig banestrømforsyning.*

- [30] Bakkland, Ørjan/Kolstad Magne L./Molund, Eirik/Nordaunet, Thomas (05.2011). *Et passende system for elektrifisering av høyhastighetsbane i Norge*. HiST, Trondheim.
- [31] Jernbaneverket (09.02.2012) *Bruk av autotransformator i banestrømforsyning*
https://trv.jbv.no/books/Bruk_av_autotransformatorer_i_banestrømforsyningen
- [32] Jernbaneverket (08.02.2012). *Fil:Fig542-AT-1.png*. <https://trv.jbv.no/books/Fil:Fig542-AT-1.png>
- [33] Jernbaneverket (2010-03-17). *Banestrømforsyning på dobbeltspor*. Rev 0. Dokumentnummer EK.80101-000.
- [34] Proarc EK.800118 (11.2007). *Autotransformator for norske forhold, teknisk godkjenning og krav til utførelse, BTPE*.
- [35] Jernbaneverket Bane Partner (03.2003). *Autotransformatorsystem for norske forhold - negativleder i tunneler*.
- [36] Bülund, Anders (26.03.2004). *Banmatningssystem*
<http://www.ee.kth.se/php/modules/seminar/files/KTH20040326.pdf>
- [37] Jernbaneverket (08.02.2012) *Fil:Fig542-AT-7.png*. <https://trv.jbv.no/books/Fil:Fig542-AT-7.png>
- [38] Hjeltnes COWI AS (2002), *Detaljplan bygg/bane parsell 12.2, planbeskrivelse*.
- [39] Jernbaneverkets tekniske regelverk (sist endret 08.02.12). *Tele/Prosjektering og bygging/Radioanlegg*. https://trv.jbv.no/wiki/Tele/Prosjektering_og_bygging/Radioanlegg
- [40] Jernbaneverkets tekniske regelverk (sist endret 02.01.12). *Bruer/Prosjektering og bygging/Generelle tekniske krav*.
https://trv.jbv.no/wiki/Bruer/Prosjektering_og_bygging/Generelle_tekniske_krav
- [41] E-mail utveksling med Roar Johansen, prosjekteringsleder grunn og jernbaneteknikk.
- [42] Jernbaneverkets tekniske regelverk (sist endret 25.02.11). *Bruer/Prosjektering og bygging*.
https://trv.jbv.no/wiki/Bruer/Prosjektering_og_bygging
- [43] Jernbaneverkets tekniske regelverk (sist endret 28.09.11). *Bruer/Prosjektering og bygging/Fundamentering*. https://trv.jbv.no/wiki/Bruer/Prosjektering_og_bygging/Fundamentering
- [44] Jernbaneverkets tekniske regelverk (sist endret 21.12.11). *Bruer/Prosjektering og bygging/Laster*. https://trv.jbv.no/wiki/Bruer/Prosjektering_og_bygging/Laster
- [45] Jernbaneverkets tekniske regelverk (sist endret 05.01.12). *Veileder for valg av tunnelkonsept*.
https://trv.jbv.no/wiki/Veileder_for_valg_av_tunnelkonsept#Tunnelkonsept
- [46] Broch, Einar og Nilsen, Bjørn. (2009), *Ingeniør geologi berg GK*
- [47] Jernbaneverket (sist endret 14.03.12). *Underbygning/Prosjektering og bygging/Tunneler*.
https://trv.jbv.no/wiki/Underbygning/Prosjektering_og_bygging/Tunneler

- [48] DSB (1949), *Byggeforskrift 1949 bind I, B-generelle tekniske forskrifter, Kap.6. Branntekniske definisjoner og klasseinndeling*, <http://oppslagsverket.dsb.no/content/arkiv/planbygg/Byggeforskrift-1949-bind-I/2/5/>
- [49] Jernbaneverkets tekniske regelverk (sist endret 22.11.10). *Fil:JD520 12 fig005.png*.
https://trv.jbv.no/w/index.php?title=Fil:JD520_12_fig005.png&filetimestamp=20101122085126
- [50] Wikipedia (26.01.2012). *Termisk konduktivitet*.
http://no.wikipedia.org/wiki/Termisk_konduktivitet
- [51] Drysdale, Dougal (2011), *An introduction to fire dynamics*, Chennai, Markono Print Media Pte Ltd
- [52] Guttorm, Liebe (26.01.2003), *Sprinkle "Romeriksporten", eller det som ruller igjennom den*,
http://www.nblf.no/arkiv_vis.asp?NyhetID=99
- [53] Store norske leksikon (18.06.2011), *Betong*, <http://snl.no/betong>
- [54] Næringslivets sikkerhetsorganisasjon (2011). *Brannvern*.
<http://www.nso.no/filestore/brannvern.pdf>
- [55] Børresen, Bent (26.03.2010). *Planfase UVB Vestfoldbanen, Brannsikkerhet, Brannventilasjon og rømningsveier-Foreløpig utkast*.
- [56] Jernbaneverkets tekniske regelverk (sist endret 14.03.12). *Underbygning/Prosjektering og bygging/Tunneler (Kap 9.2)*.
https://trv.jbv.no/wiki/Underbygning/Prosjektering_og_bygging/Tunneler
- [57] Børresen, Bent (2010), *Trykkforhold i tunneler, Farriseide – Porsgrunn*.
- [58] Jernbaneverket s tekniske regelverk (sist endret 06.09.2011). *Underbygning/Drenering*.
<https://trv.jbv.no/books/Underbygning/Drenering>
- [59] Jernbaneverket tekniske regelverk (sist endret 06.09.2011). *Underbygning/Drenering*.
<https://trv.jbv.no/books/Fil:Fig521-805.png>
- [60] Jernbaneverkets tekniske regelverk (sist endret 06.09.2011). *Underbygning/Drenering*.
<https://trv.jbv.no/b/images/8/8e/Fig521-806.png>
- [61] E-postutveksling med Ingar Dalen i Jernbaneverket, 07. mars 2012
- [62] Jernbaneverkets (sist endret 16.01.12). *Spor/Tunnel/Tunnelsikkerhet*.
https://trv.jbv.no/books/Spor/Tunnel/Tunnelsikkerhet#Kommunikasjon_2
- [63] Norconsult, (21.10.11). *Byggeplan UVB Vestfoldbanen, Parsell 12 Farriseidet – Porsgrunn, Planbeskrivelse jernbaneteknikk*.
- [64] Wikipedia, (17.12.2011). *UPS*. <http://no.wikipedia.org/wiki/UP>
- [65] Jernbaneverket (Februar 2012). *InterCity Gjør Østlandet til et arbeidsmarked*.
<http://www.jernbaneverket.no/PageFiles/17862/InterCity-brosjyre.pdf>

[66] Jernbaneverket (2012). *Farriseide-Porsgrunn*.
<http://www.jernbaneverket.no/PageFiles/17410/Brosjyre%20Farriseidet%20-%20Porsgrunn%202012%20web.pdf>

[67] Det Norske Veritas (2010). *Konseptvalganalyse dobbelspor Farriseide-Porsgrunn*

[68] NVE. *Skredkart over Farriseide-Porsgrunn*. <http://www.skrednett.no/>

[69] E-postutveksling med Pål Buskum i Jernbaneverket, 2. mars 2012

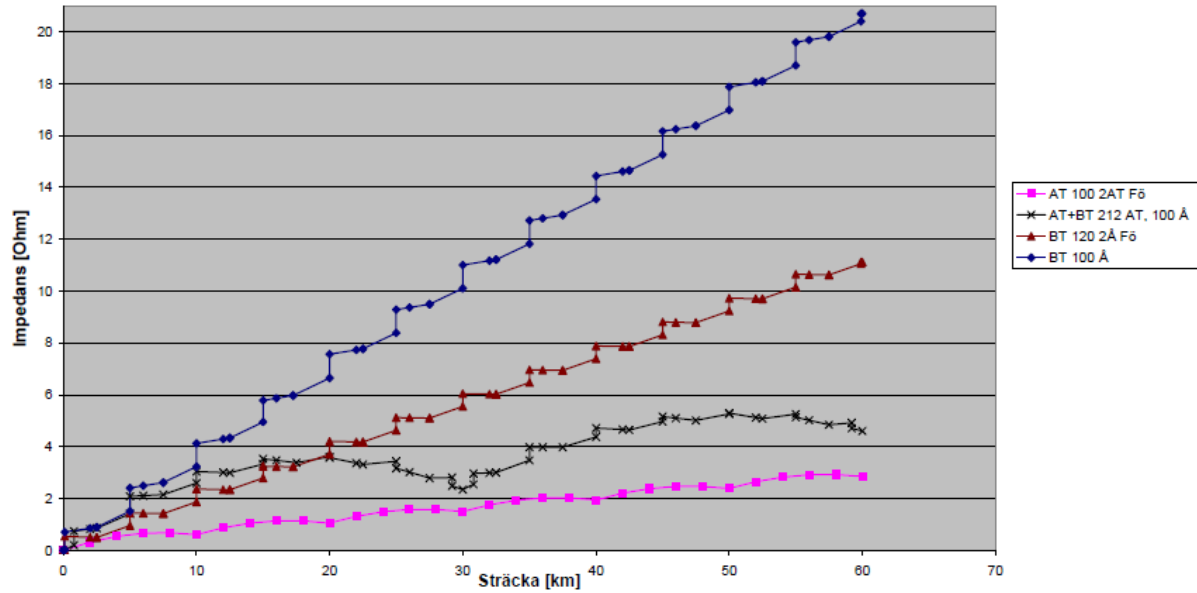
[70] Breien H. (2011) NGI, Snøskred på Vestfoldbanen

Vedlegg

Impedans som funksjon av strækkan for AT-, AT+BT- och BT- system.



AT-system: 100 2AT F6; AT-transformatorer varje mil.
AT+BT-system: 212 AT, 100 Å; AT-transformatorer var tredje mil.
BT-system: 120 2Å F6
BT-system: 100 Å



Figur 36 Impedans som funksjon av strekning [59]