

Sporgeometrisk utforming av separat godsbane til Alnabru godsterminal

Erik Due Milde

Master i veg og jernbane

Innlevert: juni 2016

Hovedveileder: Kjell Arne Skoglund, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgavens tittel: Sporgeometrisk utforming av separat godsbane til Alnabru godsterminal	Dato: 29.06.2016		
	Antall sider (inkl. bilag): 149		
	Masteroppgave	x	Prosjektoppgave
Navn: Erik Due Milde			
Faglærer/veileder: Kjell Arne Skoglund, Institutt for bygg, anlegg og transport - NTNU			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Sam Pawar, Multiconsult			

<p>Ekstrakt:</p> <p>Oppgaven er skrevet på bakgrunn av konsekvensutredningen for godsforbindelse til Alnabru godsterminal. Konsekvensutredningen anbefaler et alternativ med tunnel mellom Bryn/Alnabru og Kolbotn, eller lengre sør på Østfoldbanen, samt en kobling til Follobanen. Utredningen har det som et absolutt krav at linjeføringen skal kunne håndtere 750 meter lange godstog og/eller 1500 tonn tunge tog.</p> <p>Hensikten med oppgaven er å anbefale et alternativ som kan gi innspill til endelige linjeføring for godsforbindelse til Alnabru godsterminal. Hovedfokuset i oppgaven er sporgeometrisk utforming. Det er ikke utført kapasitetsanalyse, kostnadsoverslag eller tatt hensyn til støy, geologi og geoteknikk.</p> <p>For å anbefale et alternativ er det prosjektert seks alternativer. Alternativene er prosjektert i henhold til fastsatt dimensjonerende sporgeometri for 750 meter lange og/eller 1500 tonn tunge godstog. Dimensjonerende sporgeometri er fastsatt på bakgrunn av krav og regler, erfaringer fra andre separate godsbaner og beregninger. Beregningene er utført i Microsoft Excel. Aktuelle avgreininger er identifisert i Google Earth Pro og studert nærmere på befaringer. Geografiske sporplaner er utarbeidet i Novapoint 18.30 og AutoCAD Map 3D 2013. Alternativene er vurdert etter sporgeometrisk utforming, tilpasning til lokale forhold og fremtidige planer, samt tilpasning til fremtidig togtrafikk.</p> <p>Beregningene av dimensjonerende sporgeometri viser at det ikke er mulig å dimensjonere banen i henhold teknisk regelverk, med 12,5 % stigning, hvis en skal benytte et lokomotiv og 1500 tonn tunge tog i 80 km/t. Dette betyr at det ikke er mulig å trafikere 1500 tonn tunge tog på det eksisterende jernbanenettet. Derfor er det konkludert med at den separate godsbanen til Alnabru bør dimensjoneres med en stigning på maksimalt 12,5 % og at godstogene ikke kan være tyngre enn 1000 - 1400 tonn, ved bruk av et eksisterende lokomotiv og en fremføringshastighet på 80 km/t.</p> <p>Alternativ 3B kom best ut av vurderingen, hovedsakelig på grunn av avgreiningen fra Østfoldbanen på Greverud. Det skilte imidlertid bare 3 poeng mellom alternativ 3B og alternativet som kom dårligst ut av vurderingen. Diskusjonen viser at en spissing av vurderingskriteriene sannsynligvis ikke ville endret det. Derfor er alternativ 3B anbefalt som den beste løsningen.</p>

Stikkord:

1. Jernbane
2. Sporgeometri
3. Separate godsbaner
4. Godsforbindelse Alnabru

Forord

Oppgaven er utført ved Institutt for bygg, anlegg og transport ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Arbeidet er en del av en erfaringsbasert mastergrad innenfor jernbane, og er utført våren 2016.

Temaet for oppgaven ble valgt på grunn av et ønske om å fordype meg i jernbanenettet tilknyttet godsterminaler. De siste to årene har jeg jobbet med sporplanlegging av flere godsterminaler. I godsterminalprosjektene har det vært et krav om at terminalene skal kunne håndtere 750 meter lange godstog. Imidlertid har det være lite fokus at de 750 meter lange godstogene skal trafikkere et kupert norsk jernbanebanenett.

Jeg ønsker å takke min veileder Kjell Arne Skoglund (NTNU), spesielt for å ta seg tid til å svare på spørsmål på kort varsel. I tillegg ønsker jeg å takke kollegaer som har bidratt med tekniske grunnlagsfiler, og ikke minst de som har tatt seg tid til å svare på spørsmål.

Oslo, 29.06.2016

Erik Due Milde

Sammendrag

Oppgaven er skrevet på bakgrunn av konsekvensutredningen for godsforbindelse til Alnabru godsterminal. Konsekvensutredningen anbefaler et alternativ med tunnel mellom Bryn/Alnabru og Kolbotn, eller lengre sør på Østfoldbanen, samt en kobling til Follobanen. Utredningen har det som et absolutt krav at linjeføringen skal kunne håndtere 750 meter lange godstog og/eller 1500 tonn tunge tog.

Hensikten med oppgaven er å anbefale et alternativ som kan gi innspill til endelige linjeføring for godsforbindelse til Alnabru godsterminal. Hovedfokus i oppgaven er sporgeometrisk utforming. Det er ikke utført kapasitetsanalyse, kostnadsoverslag eller tatt hensyn til støy, geologi og geoteknikk.

For å anbefale et alternativ er det prosjektert seks alternativer. Alternativene er prosjektert i henhold til fastsatt dimensjonerende sporgeometri for 750 meter lange og/eller 1500 tonn tunge godstog. Dimensjonerende sporgeometri er fastsatt på bakgrunn av krav og regler, erfaringer fra andre separate godsbaner og beregninger. Beregningene er utført i Microsoft Excel. Aktuelle avgreininger er identifisert i Google Earth Pro og studert nærmere på befaringer. Geografiske sporplaner er utarbeidet i Novapoint 18.30 og AutoCAD Map 3D 2013. Alternativene er vurdert etter sporgeometrisk utforming, tilpasning til lokale forhold og fremtidige planer, samt tilpasning til fremtidig togtrafikk.

Beregningene av dimensjonerende sporgeometri viser at det ikke er mulig å dimensjonere banen i henhold teknisk regelverk, med 12,5 % stigning, hvis en skal benytte et lokomotiv og 1500 tonn tunge tog i 80 km/t. Dette betyr at det ikke er mulig å trafikere 1500 tonn tunge tog på det eksisterende jernbanenettet. Derfor er det konkludert med at den separate godsbanen til Alnabru bør dimensjoneres med en stigning på maksimalt 12,5 % og at godstogene ikke kan være tyngre enn 1000 - 1400 tonn, ved bruk av et eksisterende lokomotiv og en fremføringshastighet på 80 km/t.

Alternativ 3B kom best ut av vurderingen, hovedsakelig på grunn av avgreiningen fra Østfoldbanen på Greverud. Det skilte imidlertid bare 3 poeng mellom alternativ 3B og alternativet som kom dårligst ut av vurderingen. Diskusjonen viser at en spissing av vurderingskriteriene sannsynligvis ikke ville endret det. Derfor er alternativ 3B anbefalt som den beste løsningen.

Abstract

This thesis is based on the Norwegian railway authority's report on the possible dedicated freight line to Alnabru freight terminal. The report recommends a tunnel between Bryn/Alnabru and Kolbotn, or a point further south on the Østfold Line, with a connection to the Follo Line. An absolute requirement in the report is that the track alignment can accommodate 750 m long freight trains and/or 1500 t trains.

The aim of this thesis is to recommend an alignment that can give an input on the final track alignment for a dedicated freight line to Alnabru freight terminal. The main focus of this thesis is track geometry. Neither a capacity analysis nor an assessment of costs has been performed and neither noise, geology nor geotechnology is evaluated.

To recommend an alternative six alternatives are planned. The alternatives are planned according to determined design track alignment for 750 m long and/or 1500 t freight trains. Design track alignment is determined based on rules and regulations, previous experience from other dedicated freight lines and calculations. The calculations are performed in Microsoft Excel. Possible deviations are identified in Google Earth Pro and on site survey. Geographic track design is performed in Novapoint 18.30 and AutoCAD Map 3D 2013. The alternatives are evaluated based on the layout of the track geometry, adaptations to local conditions and future plans, as well as adaptations to future train traffic.

The calculations of design track alignment show that it is not possible to design the track geometry in accordance with the Norwegian railway authority's technical regulations, with an inclination of 12,5 ‰ and a minimum speed at 80 km/h, pulled by one locomotive and weight of train at 1500 t. This means that it is not possible to use 1500 t heavy trains on the existing Norwegian railway network. The conclusion of this thesis is that the dedicated freight line to Alnabru should be designed with an maximum inclination of 12,5 ‰ and operated by freight trains no heavier than 1000 - 1400 t, if they are to be pulled by existing locomotives at a speed of 80 km/h.

Alternative 3B was the preferred option in this thesis, mainly due to the diversion of the Østfold Line at Greverud. Just 3 points separated alternative 3B from the least preferred alternative. The discussion shows that an improvement of the evaluation criteria probably would not change the outcome. For this reason alternative 3B is recommended as the best solution.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Problemstilling og mål	2
1.3	Omfang og avgrensninger	3
1.4	Rapportens leserveiledning	4
1.5	Forskningsmetode og gjennomføring	5
	1.5.1 Generelt om forskningsmetode	5
	1.5.2 Metode	5
2	Teori	7
2.1	Separate godsbaner - oppsummering prosjektoppgave	7
2.2	Kapasitet avgreining	8
2.3	Avstand bebyggelse – spenningsførende anlegg	10
3	Sporgeometri	11
3.1	Kort om teori	11
	3.1.1 Horisontalgeometri	11
	3.1.2 Vertikalgeometri	13
	3.1.3 Adhesjonskoeffisient.....	15
3.2	Krav og regler	18
	3.2.1 Horisontalgeometri	18
	3.2.2 Vertikalgeometri	20
	3.2.3 Hastighet	21
3.3	Resultater fra beregninger	23
	3.3.1 Vertikalgeometri	23
	3.3.2 Aksellast og toglengde	28
	3.3.3 Hastighet	29
	3.3.4 Horisontalgeometri	32
3.4	Diskusjon	33
3.5	Konklusjoner - dimensjonerende sporgeometri	35
	3.5.1 Oppsummering	36
4	Eksisterende situasjon	37
4.1	Jernbane	37
	4.1.1 Østfoldbanen vestre linje	37
	4.1.2 Alnabru godsterminal.....	39
	4.1.3 Godssporet Alnabru-Loenga	40
4.2	Oppegård kommune	41
	4.2.1 Bebyggelse og friområder	41
	4.2.2 Annen infrastruktur	41
4.3	Oslo kommune	42
	4.3.1 Bebyggelse og friområder	42
	4.3.2 Annen infrastruktur	43
5	Fremtidige planer	45

5.1	Jernbane	45
	5.1.1 Alnabru godsterminal.....	45
	5.1.2 Follobanen.....	45
	5.1.3 Kolbotn stasjon	46
	5.1.4 Hovedbanen	47
5.2	Trafikk jernbane.....	47
5.3	Oppegård kommune.....	48
	5.3.1 Kolbotn	48
	5.3.2 Myrvoll	49
	5.3.3 Oppegård.....	49
5.4	Oslo kommune	50
	5.4.1 Hovinbyen.....	50
	5.4.2 Alnaelven	50
6	Vurderingskriterier	51
6.1	Sporgeometrisk utforming.....	51
6.2	Tilpasning til lokale forhold.....	53
6.3	Tilpasning til fremtidige planer.....	55
6.4	Tilpasning til fremtidig trafikk.....	56
6.5	Oppsummering	57
7	Alternativer	59
7.1	Alternativ 1A.....	59
7.2	Alternativ 1B	62
7.3	Alternativ 2A	63
7.4	Alternativ 2B	66
7.5	Alternativ 3A.....	66
7.6	Alternativ 3B	67
8	Vurdering	69
8.1	Alternativ 1A.....	69
8.2	Alternativ 1B	73
8.3	Alternativ 2A.....	76
8.4	Alternativ 2B.....	79
8.5	Alternativ 3A.....	82
8.6	Alternativ 3B	85
8.7	Oppsummering	88
9	Diskusjon	89
10	Anbefaling.....	93
11	Samlet vurdering.....	95
11.1	Hovedfunn	95
11.2	Videre arbeid.....	96
	Litteraturliste	99
	Vedlegg 1: Oppgavetekst.....	103
	Vedlegg 2: Beregning horisontalgeometri	107

Vedlegg 3: Beregning av stigning	112
Vedlegg 4: Resultater – beregning av stigning.....	119
Vedlegg 5: Fakta og trekkraftdiagram lokomotiv	125
Vedlegg 6: Formler toglengde og aksellast	129

Figurliste

Figur 1: Avgreining med kryssende togveg (Skarsæterhagen, 2015a)	8
Figur 2: Eksempel på løsning av kryssende togveg 1 (Pachl, 2002)	8
Figur 3: Eksempel på løsning for kryssende togveg 2 (Pachl, 2002)	8
Figur 4: Avgreining ved stasjon med planskilt kryssing(Skarsæterhagen, 2015b)	9
Figur 5: Minimumsavstand mellom bygninger og spenningsatte deler i KL-anlegget (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2006)	10
Figur 6: Trekkraftkurve.....	13
Figur 7: Adhesjonskoeffisient ved varierende klimatiske forhold og hastighet	16
Figur 8: Adhesjonskoeffisient ved varierende hastighet.....	17
Figur 9: Adhesjonskoeffisient med varierende hastighet for Shinkansen	17
Figur 10: Sammenligning av adhesjonskoeffisient – formler og målinger.....	23
Figur 11: Bombardier TRAXX maksimal stigning ved ulike adhesjonskoeffisienter.....	24
Figur 12: Maksimal stigning 1500 tonn tunge tog.....	25
Figur 13: Spesifikk disponibel trekkraft ved stigning på 8 ‰ og 1500 tonn tunge tog	25
Figur 14: Maksimal stigning 1400 tonn tunge tog.....	26
Figur 15: Spesifikk disponibel trekkraft ved stigning på 12,5 ‰ og 1400 tonn tunge tog	26
Figur 16: Maksimal stigning 1000 tonn tunge tog.....	27
Figur 17: Spesifikk disponibel trekkraft ved stigning på 12,5 ‰ og 1000 tonn tunge tog	27
Figur 18: Maksimal hastighet for 1500 tonn tunge tog uten stigning.....	29
Figur 19: Maksimal hastighet for 1500 tonn tunge tog i 12,5 ‰ stigning	30
Figur 20: Maksimal hastighet for 1400 tunge tog i 12,5 ‰ stigning.....	30
Figur 21: Maksimal hastighet for 1000 tonn tunge tog i 12,5 ‰ stigning.....	31
Figur 22: Linjekart Østfoldbanen (NSB, 2016)	38
Figur 23: Oversikt over baner tilknyttet Alnabruterminalen - Grunnkart: (Jernbaneverket, 2016a).....	39
Figur 24: Oversikt over godssporet mellom Loenga og Bryn - Grunnkart: (Jernbaneverket, 2016a).....	40
Figur 25: Oversiktskart Østfoldbanen Rosenholm-Langhus - Grunnkart: (Jernbaneverket, 2016a).....	41
Figur 26: Reguleringsplan Bryn - Grunnkart: (Oslo kommune, 2016a).....	42
Figur 27: Kart Bryn stasjon - Grunnkart: (Jernbaneverket, 2016a).....	43
Figur 28: Trasé Follobanen (Jernbaneverket, 2013).....	45

Figur 29: Konsept 1 - Kolbotn stasjon (Jernbaneverket, 2014b)	46
Figur 30: Kommuneplan Kolbotn (Oppegård kommune, 2016)	48
Figur 31: Illustrasjon Myrvoll – Grunnkart: (JM Norge AS, 2015a)	49
Figur 32: Utsnitt kommunedelplan Alna miljøpark (Oslo kommune, 2016a).....	50
Figur 33: Oversiktskart alternativ 1A	59
Figur 34: Kartutsnitt alternativ 1A - avgreining godssporet Alnabru – Loenga.....	60
Figur 35: Kartutsnitt alternativ 1A - avgreining Follobanen	61
Figur 36: Kartutsnitt alternativ 1A - avgreining Kolbotn	61
Figur 37: Kartutsnitt alternativ 1B - avgreining godssporet Alnabru – Loenga.....	62
Figur 38: Kartutsnitt alternativ 1B - kryssing av Hovedbanen og Alnaleven.....	62
Figur 39: Oversiktskart alternativ 2A	63
Figur 40: Kartutsnitt alternativ 2A - avgreining Greverud	64
Figur 41: Kartutsnitt alternativ 2A - planskilt løsning Østfoldbanen	64
Figur 42: Alternativ 2A - Normalprofil avgreining Greverud	65
Figur 43: Alternativ 2A - Normalprofil kulvert	65
Figur 44: Kartutsnitt alternativ 3A –avgreining Greverud	66
Figur 45: Kartutsnitt alternativ 3A - planskilt løsning.....	66
Figur 46: Alternativ 3A – Normalprofil avgreining Greverud	67
Figur 47: Skjematisk sporplan alt.1A - avgreining Alnabru.....	70
Figur 48: Skjematisk sporplan alt.1A - avgreining Kolbotn.....	71
Figur 49: Skjematisk sporplan alt.1A - avgreining Follobanen.....	71
Figur 50: Skjematisk sporplan alt.1B - avgreining Alnabru	74
Figur 51: Skjematisk sporplan alt.2A - avgreining Østfoldbanen	77
Figur 52: Skjematisk sporplan alt.3A - avgreining Østfoldbanen	83

Tabelliste

Tabell 1: Separate godsbaner - sammenstilling tekniske parametere (Milde, 2015).....	7
Tabell 2: Dimensjonerende parametere for nye baner og linjeomlegginger.....	18
Tabell 3: Oversikt standard enkel sporveksler (Jernbaneverket, 2016e).....	19
Tabell 4: Minste sporavstand (Jernbaneverket, 2016c)	20
Tabell 5: Dimensjonerende parametere vertikalgeometri (Jernbaneverket, 2016d).....	20
Tabell 6: Tillatt hastighet og tog lengde (Jernbaneverket, 2015d)	21
Tabell 7: Tillatt hastighet og maksimal aksellast for overbygningssklasse (Jernbaneverket, 2016c).....	22
Tabell 8: Tog lengder ved ulike aksellaster - 1500 tonn tunge tog.....	28
Tabell 9: Tog lengder ved ulike aksellaster - 1400 tonn tunge tog.....	28
Tabell 10: Tog lengder ved ulike aksellaster - 1000 tonn tunge tog.....	28
Tabell 11: Minste verdier for horisontalgeometri fra TRV og beregninger, ved V=140 km/t	32
Tabell 12: Dimensjonerende sporgeometri	36
Tabell 13: Oversikt over rettlinjer mellom Kolbotn og Vevelstad for høyre hovedspor.....	37
Tabell 14: Vurderingskriterier vertikalgeometri	51
Tabell 15: Vurderingskriterier horisontalgeometri - overhøyde	52
Tabell 16: Vurderingskriterier sporveksel	52
Tabell 17: Vurderingskriterier laveste maksimal hastighet – fri linje	53
Tabell 18: Vurderingskriterier - antall bygninger som bør rives	54
Tabell 19: Vurderingskriterier - konflikt med infrastruktur	54
Tabell 20: Vurderingskriterier - omlegging av eksisterende jernbane.....	55
Tabell 21: Vurderingskriterier -konflikt med andre planer.....	55
Tabell 22: Vurderingskriterier - muligheter for utvidelse til to spor	56
Tabell 23: Vurderingskriterier - kapasitet.....	56
Tabell 24: Oppsummering vurderingskriterier	57
Tabell 25: Oppsummering vurdering alternativ 1A.....	72
Tabell 26: Oppsummering - vurdering alternativ 1B.....	75
Tabell 27: Oppsummering vurdering alternativ 2A.....	78
Tabell 28: Oppsummering vurdering alternativ 2B.....	81
Tabell 29: Oppsummering vurdering alternativ 3A.....	84
Tabell 30: Oppsummering vurdering alternativ 3B.....	87
Tabell 31: Sammenstilt vurdering av alternativer.....	88

Forkortelser

Forkortelse	Forklaring
--------------------	-------------------

KVU	Konseptvalgutredning
-----	----------------------

JBV	Jernbaneverket
-----	----------------

UIC	Union internationale des chemins de fer/ International Union of Railways
-----	--

TRV	Teknisk regelverk
-----	-------------------

NSB	Norges Statsbaner
-----	-------------------

Begrepsforklaringer

Begrep	Forklaring
---------------	-------------------

Bevegelig krysspiss	Krysspissen i sporvekselen er bevegelig, slik at en unngår et føringsløst parti
---------------------	---

Togvei	Spor som er bestemt for det enkelte togs kjøremønster
--------	---

Notasjoner

Symbol	Enhet	Forklaring
P	‰	Rampestigning - endring av overhøyde per lengdeenhet
ΔD	mm/s	Rampestigningshastighet – endring av overhøyde per tidsenhet
ψ	m/s ³	Rykk – endring av ukompensert sideakselerasjon per tidsenhet
j_u	mm/s ²	Ukompensert sideakselerasjon
I	mm	Manglende overhøyde
E	mm	Overskuddsoverhøyde
s	mm	Sporvidde
h	mm	Overhøyde
R	m	Kurveradius
v	m/s	Hastighet
V	km/t	Hastighet
a	m/s ²	Akselerasjon
g	9,81 m/s ²	Tyngdes akselerasjon
L	m	Overgangskurvens lengde
F	kN	Trekkraft
P	kN	Aksellast
μ	-	Adhesjonskoeffisient
s	‰	Stigning
f	‰	Spesifikk trekkraft
w_o	‰	Spesifikk grunnmotstand
w_r	‰	Spesifikk kurvemotstand
w_s	‰	Spesifikk stigningsmotstand
w	‰	Spesifikk kjøremotstand
w_a	‰	Spesifikk akselerasjonsmotstand
E	kW	Motoreffekt lokomotiv/motorvognsett
ρ	-	Massefaktor relatert til roterende masse
m	t	Masse

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I 2013 utførte Jernbaneverket en KVV (konseptvalgutredning) for godsforbindelse mellom Follobanen, Østfoldbanen og Alnabru godsterminal. Det prosjektutløsende behovet var:

«Økt kapasitet og mer pålitelig tilbud for godstransport på bane mellom utlandet og Alnabru godsterminal» (Jernbaneverket, 2013, s. 9)

Konseptvalgutredningen ble utført på grunn av planleggingen av Follobanen, hvor det ble identifisert utfordringer med kapasitet og stigning i Brynsbakken mot Alnabru godsterminal. Brynsbakken har en stigning på 26 ‰, noe som medfører at tunge tog er avhengig av hjelpelokomotiv for å kjøre til Alnabru godsterminal (Jernbaneverket, 2013). Stigningen begrenser kapasiteten for strekningen (Jernbaneverket, 2013), noe som kan være spesielt problematisk i forhold til fremtidig trafikk med lange godstog på 750 meter eller mer.

I Tyskland har det blitt utført testkjøring med 1500 meter lange godstog (Jernbaneverket, 2015b), men KVV for godsforbindelse til Alnabru har det som et absolutt krav at linjeføringen skal kunne håndtere 750 meter lange godstog og/eller 1500 tonn tunge tog (Jernbaneverket, 2013). Jernbaneverkets tekniske regelverk har imidlertid ikke krav til linjeføringen for baner som er dedikert til godstog.

KVV for godsforbindelse til Alnabru anbefaler et alternativ med tunnel mellom Bryn/Alnabru og Kolbotn, eventuelt med avgreining lengre sør på Østfoldbanen (Jernbaneverket, 2013). For at godstrafikken skal kunne benytte Follobanen om natten er det anbefalt at det blir etablert en kobling mellom den separate godsbanen og Follobanen (Jernbaneverket, 2013). Det eksisterer en rekke planer for fortetting av bebyggelse og ny infrastruktur i nærheten av det anbefalte alternativet, samt planer for økning av øvrig togtrafikk på tilknyttede baner.

1.2 Problemstilling og mål

Problemstillingen for oppgaven er sporgeometrisk utforming av separat godsbane mellom Alnabru godsterminal og Østfoldbanen.

Målet med oppgaven er å vurdere alternativer for en separat godsbane mellom Alnabru og Kolbotn eller lengre sør på Østfoldbanen. For å vurdere alternativene vil det bli utformet flere linjeføringer med utgangspunkt i anbefalt alternativ fra KVVU for godsforbindelse til Alnabru godsterminal.

Sporgeometrisk utforming for 750 meter lange og/eller 1500 tonn tunge tog vil bli spesielt vektlagt, da det er et absolutt krav i konsekvensutredningen for godsforbindelse til Alnabru godsterminal. Dimensjonerende sporgeometri vil bli fastsatt på bakgrunn av krav og regler, erfaringer fra andre separate godsbaner og teori med tilhørende beregninger.

I tillegg til sporgeometrisk utforming skal linjeføringen ta hensyn til berørte parter og fremtidige planer. For å dokumentere dette vil alternativene blir vurdert etter følgende kriterier:

- Sporgeometrisk utforming
- Tilpasning til lokale forhold
- Tilpasning til fremtidige planer
- Tilpasning til fremtidig togtrafikk

1.3 Omfang og avgrensninger

Oppgaven tar utgangspunkt i KVV for godsforbindelse Alnabru, men vil ikke nødvendigvis følge alle anbefalinger.

Ettersom oppgaven skrives i en begrenset periode vil det ikke være mulig å studere hele linjen i detalj. Derfor vil derfor bli lagt hovedvekt på alternativsøk for avgreiningene fra Kolbotn/Østfoldbanen og Bryn/Alnabru. Store deler av det anbefalte alternativet fra KVV for godsforbindelse til Alnabru går i tunnel. På denne tunnelstrekningen vil det hovedsakelig bli gjort optimaliseringer.

For å begrense omfanget på oppgaven vil ikke avgreininger som ikke fungerer bli detaljert ut eller presentert i oppgaven.

KVV for godsforbindelse Alnabru anbefaler en avgreining fra Kolbotn eller lengre sør på Østfoldbanen. Avgreining fra Ski og Vevelstad/Langhus ble også vurdert, men disse alternativene ble forkastet. Lengre sør på Østfoldbanen er derfor i utgangspunktet avgrenset til nord for Vevelstad/Langhus. Dersom det er utfordrende i forhold til vurderingskriteriene å få til en avgreining i henhold til anbefaling, kan andre løsninger bli vurdert.

Ettersom teknisk regelverk ikke har krav til baner dedikert til godstog, vil dimensjonerende sporgeometri bli fastsatt ut i fra en vurdering av sporgeometri på andre separate godsbaner, teknisk regelverk og beregninger.

I oppgaven vil godsforbindelsen til Alnabru bli planlagt som enkeltspor, men mulighetene for utvidelse til to spor vil bli vurdert.

Vurdering av tilpasning til fremtidig trafikk er avhengig av kapasitetsanalyser. For å begrense omfanget til oppgaven vil det ikke bli gjennomført beregninger eller trafikksimuleringer.

Oppgaven vil ikke vurdere sporgeometri eller andre jernbanetekniske forhold på eksisterende baner som vil være tilknyttet en separat godsbane til Alnabru.

For å begrense omfanget av oppgaven vil det ikke bli tatt hensyn til geologi, geoteknikk eller utført kostnadsoverslag. Støy, herunder luftstøy, strukturlyd og vibrasjoner, er et eget spesialistfag. For å begrense omfanget av oppgaven vil dette ikke bli studert nærmere.

1.4 Rapportens leserveiledning

Oppgaven forutsetter at leseren har jernbanetekniske kompetanse på bachelor- eller masternivå og noen års relevant erfaring.

Nedenfor følger en beskrivelse av strukturen til oppgaven.

- Kapittel 1:** Dette er oppgavens innledning med tilhørende formell del.
- Kapittel 2:** Kapitlet tar for seg generell teori, i form av oppsummering av prosjektoppgaven og teori relevant for vurderingskriteriene.
- Kapittel 3:** Omhandler sporgeometri, og er på et vis en oppgave i oppgaven. Kapitlet tar for seg sporgeometrisk teori, krav og regler, presentasjon av resultater fra beregninger og anbefalt sporgeometri for separate godsbaner.
- Kapittel 4:** Tar for seg eksisterende situasjon innenfor oppgavens geografiske avgrensning.
- Kapittel 5:** Redegjør for fremtidige planer innenfor oppgavens geografiske avgrensning.
- Kapittel 6:** Omhandler vurderingskriterier, som alternativene skal vurderes etter.
- Kapittel 7:** Er en presentasjon av alternativene som er ansett for å være gjennomførbare.
- Kapittel 8:** Er en vurdering av alternativene på bakgrunn av vurderingskriteriene i kapittel 6.
- Kapittel 9:** Tar for seg diskusjon og anbefaling ut i fra vurderingen i kapittel 8.
- Kapittel 10:** Omhandler anbefaling, basert på vurderingene og diskusjonen.
- Kapittel 11:** Omfatter samlet vurdering og videre arbeid. Den samlede vurderingen tar for seg kapittel 3 om sporgeometri og selve casestudiet (kapittel 4,5,6,7,8,9 og 10). Videre arbeid tar for seg temaer som det hadde vært interessant å se nærmere på om tiden ikke begrenset oppgaven.

1.5 Forskningsmetode og gjennomføring

1.5.1 Generelt om forskningsmetode

Det eksisterer flere forskningsmetoder, hvor de to vanligste er kvantitativ metode og kvalitativ metode.

Kvantitative metode baserer seg på tall, mengde- og størrelsesforhold, noe som gjør metoden målbar og svært etterprøvable (Olsson, 2014). Målinger og tallfestede spørreundersøkelser kan være eksempler på kvantitative metoder.

Ved bruk av **kvalitative metoder** kommer informasjonen fra muntlige eller skriftlige kilder (Olsson, 2014). Kvalitativ metode er spesielt egnet til å oppnå en helhetsforståelse innenfor et tema, samt å forstå tallmaterialet fra kvantitative metoder. Eksempler på kvalitative metoder er intervjuer, litteraturstudier og dokumentgjennomganger.

1.5.2 Metode

Det har blitt benyttet flere forskjellige metoder i oppgaven, noe som er typisk for casestudier. I kapittel 2, 3.1, 3.2, 4 og 5 er det benyttet litteraturstudie, som er en kvalitativ metode.

Teori om kapasitet ved avgreininger kommer fra pensumbøker og forelesninger.

Teori, krav og regler om sporgeometri kommer fra Jernbaneverkets tekniske regelverk, pensum og forskningsartikler. For å finne relevante forskningsartikler er det utført litteratursøk med søkemotorene Bibsys, Oria og Google Scholar. På grunn av blant annet store endringer på fremføringshastighet er litteratursøket begrenset til publiseringsår 1980-2016. Det er brukt søkeord som railway, railroad, adhesion, friction, rail, coefficient, track, alignment, geometry o.l. Søkeordene er benyttet i kombinasjon med hverandre, samt med og uten gåseøyne

Litteraturstudiet av eksisterende og fremtidig situasjon er blant annet innhentet fra internettsiden til Jernbaneverkets internettside med oversikt over pågående og planlagte prosjekter. På internettsiden til Jernbaneverket er de fleste prosjektrapportene tilgjengelige for offentligheten. Informasjonen om Oslo og Oppegård kommune kommer fra de respektive kommunenes reguleringsplaner og kommunedelplaner.

Beregningene av sporgeometri er en kvantitativ metode. Ved beregning av sporgeometrien er det benyttet formler og verdier som er dokumentert i litteraturstudie om sporgeometri.

Beregningene er utført i Microsoft Excel, og dokumentert i vedlegg som skjermtklipp fra Microsoft Excel. Resultatene er presentert som grafer i selve oppgaven og som vedlegg.

Ved utarbeidelse av alternativer er det innhentet relevante tekniske grunnlagsdata. De tekniske grunnlagsdataene kommer fra prosjekter som Multiconsult har hatt for Jernbaneverket. Aktuelle avgreininger er identifisert ved bruk av Google Earth Pro med påfølgende befaringer for å vurdere området. For de aktuelle avgreiningene er det utarbeidet konsepter som skjematiske sporplaner. Geografiske sporplaner er utarbeidet i Novapoint 18.30 og AutoCAD Map 3D 2013, på grunnlag av de skjematiske sporplanene. Tunnelstrekningen er optimalisert med hensyn på dimensjonerende sporgeometri og aktuelle avgreininger.

Validiteten til alternativene er avhengig av at planlagte tiltak og reguleringsplaner blir gjennomført. I oppgaven er det forsøkt å ta til hensyn berørte partene, men dersom tiltakene ikke blir gjennomført kan det eksistere bedre linjeføringer. En annen svakhet med oppgaven er at det ikke er utført geologiske og geotekniske vurderinger. Derfor kan det være dårlige grunn- og bergforhold langs den anbefalte linjeføringen. I oppgaven ser en bort i fra kostnader, et sentralt tema ved vurdering av alternativer for Jernbaneverket. Det anbefalte alternativet kan dermed ha betydelig høyere kostnader enn de andre alternativene. Validiteten til beregningene av sporgeometri skal ut i fra det teoretiske grunnlaget være ganske god. Imidlertid har oppgaven vist at det eksisterer en rekke formler for adhesjonskoeffisienten med vidt forskjellige resultater. Validiteten til beregningene av stigning er derfor avhengig av at den benyttede formelen gir en tilfredsstillende tilnærming til togframføring i praksis. Jernbaneverket kan ha praktiske erfaringer som ikke er tilgjengelig for offentligheten. Derfor er det mulig at Jernbaneverket ville beregnet eller fastsatt dimensjonerende sporgeometri på en annen måte.

Reliabiliteten for litteraturstudiene er god fordi litteraturen er tilgjengelig på statelige og kommunale hjemmesider, som forskningsartikler og lærebøker i jernbaneteknikk. Beregningene for sporgeometrien er dokumentert som vedlegg og formler i oppgaven. Ut i fra vedleggene skal det vært mulig å lage lignende kalkulator i Microsoft Excel. De tekniske grunnlagsfilene for infrastrukturtiltak kommer fra Multiconsult sine prosjekter, dette får ikke nødvendigvis alle tilgang til. Dette svekker reliabiliteten i betydelig grad. Det er dog teoretisk sett mulig å innhente de tekniske grunnlagsfilene fra Jernbaneverket.

2 Teori

2.1 Separate godsbaner - oppsummering prosjektoppgave

Separate godsbaner er strekninger dedikert til godstrafikk, og «er hovedsakelig etablert for å øke markedsandelen til jernbane på godstrafikk og konkurransekraften til havner» (Milde, 2015, s. III). Banene har ikke nødvendigvis sporgeometri tilpasset godstog, ettersom flere av de har oppstått på grunn av endret sporbruk (Milde, 2015). Tabellen nedenfor viser en sammenstilling sportekniske parametere for noen eksisterende og planlagte godsbaner.

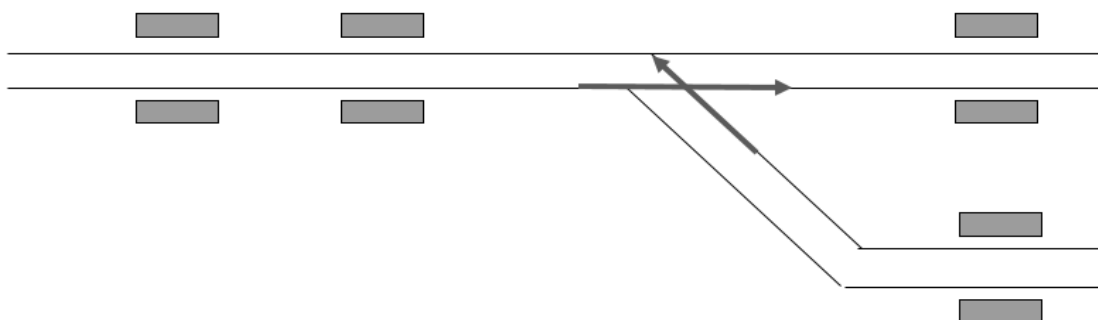
Tabell 1: Separate godsbaner - sammenstilling tekniske parametere (Milde, 2015)

Bane	Lengde bane (km)	Maksimal hastighet (km/t)	Toglengde (m)	Maksimal aksellast (tonn)	Største stigning (‰)	Minste horisontalkurve(m)
Betuwueroute (Nederland)	160	120	750	22,5	5	
Alameda corridor (USA)	32	65				
Inland Rail (Australia)	1731	115	1800	25	20	400
Kirkenes-Bjørnevatn (Norge)	7,5				15	275
Liefkenshoek Rail Link (Belgia)	16,2		750	20	14,7	91
Western Dedicated Freight Corridor (India)	1499	100	1500	32,5	5	700 ¹
Eastern Dedicated Freight Corridor (India)	1839	100	1500	32,5	5	700 ¹

¹Største tillatte kurveradius

2.2 Kapasitet avgreining

Ved avgreining fra dobbeltspor med retningsdrift har utformingen av sporplanen stor betydning for kapasiteten. Hvis avgreiningen har en enkel sporsløyfe kan det oppstå kryssende togveger, figur 1, og redusert kapasitet (Skarsæterhagen, 2015a).



Figur 1: Avgreining med kryssende togveg (Skarsæterhagen, 2015a)

Kryssende togveger gjør det komplisert å lage gode ruteplaner (Skarsæterhagen, 2015a). En kan fjerne kryssende togveger ved å etablere planfri kryssing eller ekstra spor for egne togveger (Pachl, 2002), som f.eks. kryssing i plan med ventespor. Figur 2 og 3 viser hvordan en kan fjerne kryssende togveger på eksisterende jernbanenett.

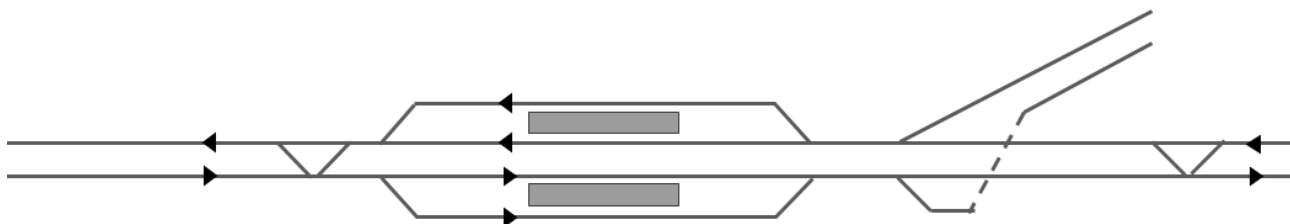


Figur 2: Eksempel på løsning av kryssende togveg 1 (Pachl, 2002)



Figur 3: Eksempel på løsning for kryssende togveg 2 (Pachl, 2002)

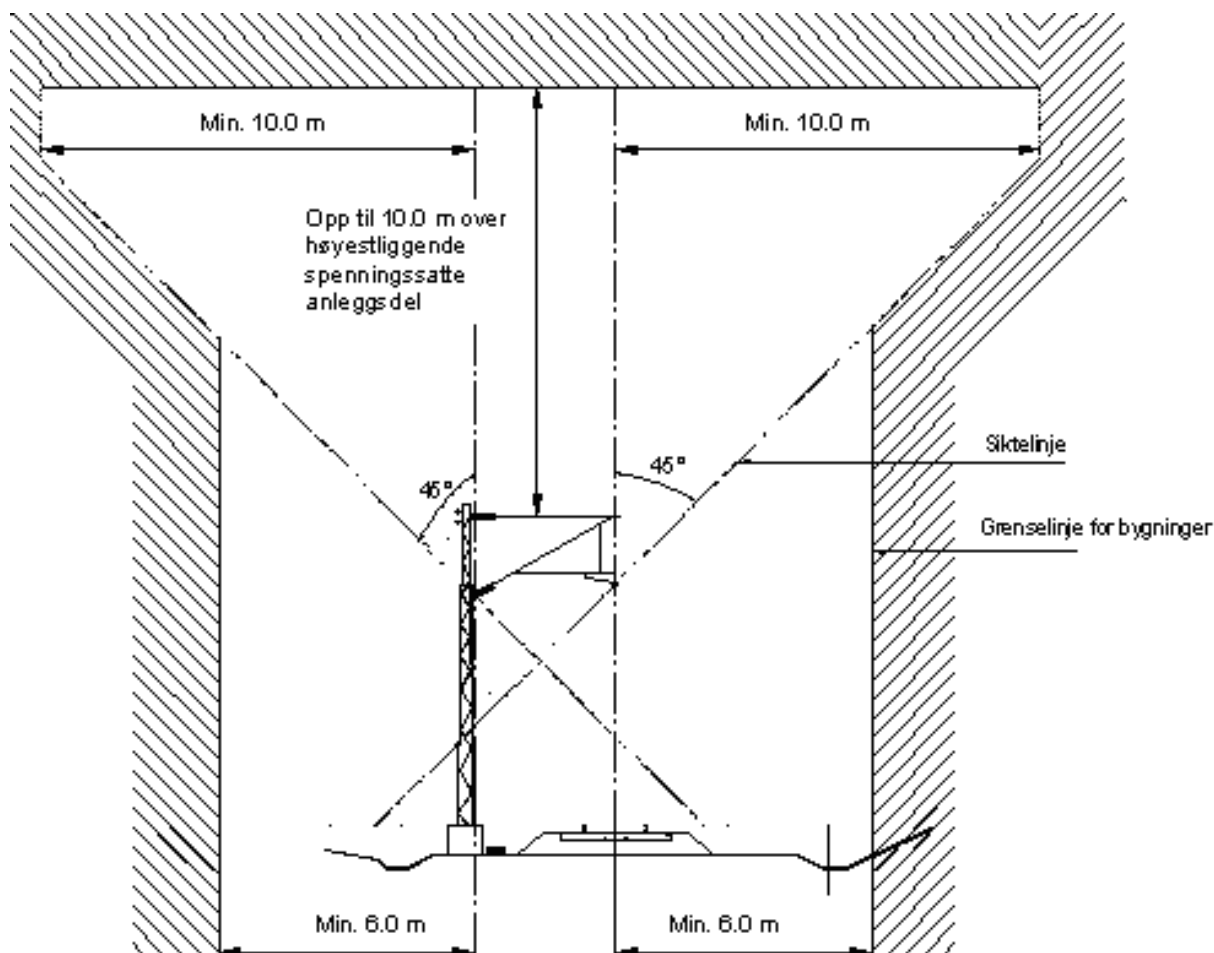
Stasjoner med avgreining gjør utformingen ytterligere komplisert på grunn av stoppende og eventuelle vendende persontog. I Norge er de fleste avgreiningenes på stasjonene. Dette gjør det vanskelig å utforme kapasitetssterke avgreininger på grunn økende trafikk, krav til lengre og rette plattformer, sporveksler med større hastighet i avvik og sikkerhetssoner for samtidig innkjør (Skarsæterhagen, 2015b). Hvis en eksisterende avgreining er tilknyttet en stasjon er en ofte avhengig av å flytte avgreiningen eller plattformområdet (Skarsæterhagen, 2015b). Figur 4 illustrer hvordan en stasjon med avgreining bør være utformet.



Figur 4: Avgreining ved stasjon med planskilt kryssing(Skarsæterhagen, 2015b)

2.3 Avstand bebyggelse – spenningsførende anlegg

Minste avstand fra spenningsatte deler i kontaktledningsanlegget til bygninger skal være 6 meter. For høye bygninger skal den horisontale avstanden økes til 10 meter langs en siktlinje på 45 grader. Dersom bygninger har solid og varig mekanisk beskyttelse mot spenningsatte deler i kontaktledningsanlegget er det tillatt med bygninger innenfor grenselinjene i figur 5.



Figur 5: Minimumsavstand mellom bygninger og spenningsatte deler i KL-anlegget (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2006)

3 Sporgeometri

3.1 Kort om teori

3.1.1 Horisontalgeometri

Når tog kjører i en sirkelkurve virker det en sentripetalkraft på toget. Sentripetalkraften virker lateralt innover i kurven og varierer med hastigheten. Ved beregninger i jernbanesammenheng forenkler en problemstillingen ved å se på det som et statisk system. En benytter en fiktiv sideakselerasjon, som egentlig er en treghetsreaksjon. Den fiktive sideakselerasjonen er like stor og motsatt rettet av sentripetalakslerasjonen, og omtalt som sentrifugalakselerasjonen. Sentrifugalakselerasjonen medfører fare for avsporing og velting (Esveld, 2001). For godstog kan det også føre til forflytning av lasten i vognene (Esveld, 2001). Det er bare mulig å redusere deler av virkningene til sentrifugalakselerasjonen, ettersom togene normalt har varierende hastighet. Det gjenstår en ukompensert sentrifugalakselerasjon, omtalt som ukompensert sideakselerasjon.

Overhøyde

Overhøyde i sirkelkurvene kan redusere sentrifugalakselerasjonen. Hvis sentrifugalakselerasjonen er fullstendig kompensert har sporet en ideell overhøyde (Esveld, 2001).

$$h_{ideell} = \frac{v^2 \cdot s}{R \cdot g} \quad (1)$$

Den ukompenserte sideakselerasjonen kan betegnes som manglende overhøyde og overskuddsoverhøyde. Manglende overhøyde oppstår når overhøyden er lavere enn den ideelle overhøyden. Dette inntreffer når fremføringshastigheten er høyere enn dimensjonerende hastighet. Manglende overhøyde blir bestemt av følgende formel (Esveld, 2001).

$$I = \frac{v_{maks}^2 \cdot s}{R \cdot g} - h \quad (2)$$

Manglende overhøyde fører til økt skinnelitasje på den øvre skinne på grunn av flenskontakt mellom hjul og skinn (Esveld, 2001). Ved manglende overhøyde større enn 200 mm er det fare for deformasjon av sporet, større enn 300 mm avsporing og større enn 400 mm velting (Skoglund, 2011). Normalt er det fastsatt grenseverdier av hensyn til passasjerkomfort, som er lavere enn de overnevnte verdiene (Skoglund, 2011). Ved hastighet lavere enn sporets dimensjonerende hastighet oppstår det overskuddsoverhøyde. Overhøyden er høyere enn den

ideelle overhøyden. Overskuddsoverhøyde medfører økt slitasje på innerskinnen, fare for flytning av lasten til godstog og avsporing ved ujevn fordeling av lasten ved stopp i sirkelkurver (Esveld, 2001). Dette kan uttrykkes med følgende formel (Esveld, 2001):

$$E = h - \frac{v_{min}^2 \cdot s}{R \cdot g} \quad (3)$$

På grunn av varierende hastighet er det ikke gjennomførbart å operere med ideell overhøyde. Det er derfor vanlig med krav til maksimal overhøyde begrenset av grenseverdier for manglende overhøyde. En kan selv beregne maksimal overhøyde med formel (4).

$$h_{maks} = \frac{v^2 \cdot s}{R \cdot g} - I_{maks} \quad (4)$$

Kurveradius

En kan redusere effekten av sentrifugalakselerasjonen ved å ha så stor kurveradius som mulig (Esveld, 2001), men dette er arealkrevende. For å redusere virkningen av sentrifugalakselerasjonen er det vanlig å sette en nedre grenseverdi for kurveradiusen. Minste kurveradius er begrenset av maksimal og manglende overhøyde:

$$R_{min} = \frac{v^2 \cdot s}{g(h_{maks} + I_{maks})} \quad (5)$$

Overgangskurve og overhøyderampe

Overgangskurver benyttes for gradvis justering sentrifugalakselerasjonen (Esveld, 2001), og sammenfaller vanligvis med overhøyderampen (Skoglund, 2011). Overhøyderampen brukes til å bygge opp overhøyden før sirkelkurven (Esveld, 2001).

Lengden til overgangskurvene blir dimensjonert med hensyn på rampestigning, rampestigningshastighet og rykk. Rampestigningen er dimensjonerende på grunn av fare for avsporing, rampestigningshastigheten og rykket er hovedsakelig dimensjonerende av hensyn til komfort (Skoglund, 2011). Overgangskurvens minste dimensjonerende lengde er den største verdien fra formel (6), (7) og (8) (Skoglund, 2011).

$$\text{Rampestigning:} \quad L_1 \geq \frac{h}{P_{maks}} \quad (6)$$

$$\text{Rampestigningshastighet:} \quad L_2 \geq v \cdot \frac{h}{\Delta D_{maks}} \quad (7)$$

$$\text{Rykk:} \quad L_3 \geq v \cdot \frac{j_u}{\psi_{maks}} \quad (8)$$

3.1.2 Vertikalgeometri

Stigning

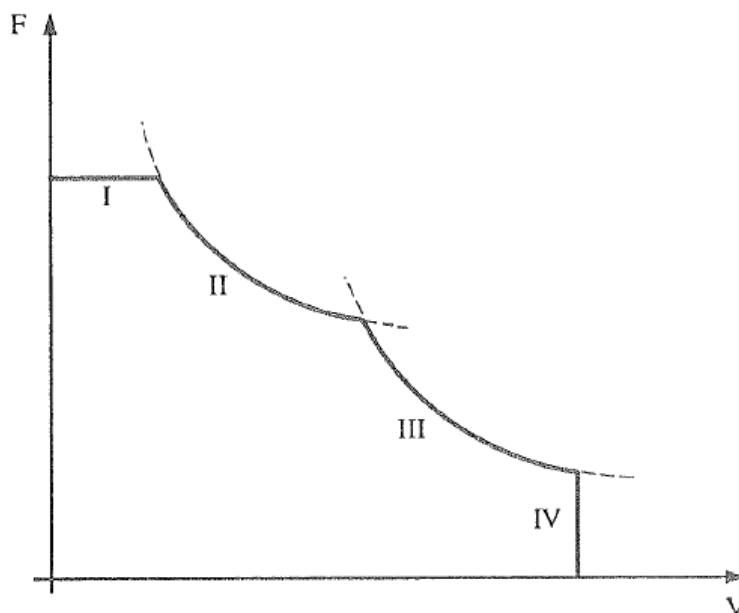
Store stigninger kan medføre begrensninger for hvilke tog som kan trafikkere linjen, togvekt og hastighet (Esveld, 2001). Spesielt tunge godstog kan ha problemer med store stigninger (Lindahl, 2001). Derfor er det vanlig å sette krav til maksimal stigning. Maksimal stigning er begrenset av trekkraften til lokomotivet eller motorvognsettet og kjøremotstanden (Holme, 1994). For å beregne maksimal stigning kan en benytte følgende formel (Milde, 2015):

$$s = w_s = f - w_o - w_r \quad (9)$$

Formelen for stigningsmotstand tar ikke hensyn til akselerasjonsmotstanden. Hvis tog stopper i en stigning må de ha tilgjengelig kraft til å overvinne akselerasjonsmotstanden.

Trekkraft (Holme, 1994)

Trekkraften blir overført fra hjulene til skinnene gjennom et lite kontaktområde. Kraftoverføringen er begrenset av tilgjengelig adhesjon, aksellasten til drivende aksler og motorkapasitet til lokomotivet. Dette er ofte fremstilt som en trekkraftkurve. Figur 6 illustrerer en typisk trekkraftkurve, hvor x-aksen er hastighet og y-aksen trekkraften.



Figur 6: Trekkraftkurve

Trekkraftkurven er delt inn i fire områder. I de to første områdene er trekkraften begrenset av adhesjonsforholdene, hvor første del av begrenset av øvre verdi for adhesjonen. Trekkraften er begrenset av motorkapasiteten til lokomotivet i det tredje området. I det fjerde området er trekkraften begrenset av lokomotivets øvre tillatte hastighet.

I. Trekkraft begrenset av øvre verdi for adhesjon $F = \mu_{\text{øvre verdi}} \cdot P_{\text{lok}}$ (10)

II. Trekkraft begrenset av adhesjon: $F = \mu \cdot P_{\text{lok}}$ (11)

III. Trekkraft begrenset av motorkapasitet: $F = \frac{E}{v}$ (12)

Hvis trekkraften begrenset av motorkapasitet er større enn trekkraft begrenset av adhesjon er sistnevnte dimensjonerende:

$$F \leq \mu \cdot P_{\text{lok}} \quad (13)$$

En kan uttrykke trekkraften som spesifikk trekkraft med følgende formel:

$$f = \frac{F}{P_{\text{tog}}} \quad (14)$$

Kjøremotstand

Kjøremotstanden består av grunnmotstand, kurvemotstand, stigningsmotstand og akselerasjonsmotstand. Formlene i dette avsnittet er hentet fra Holme (1994).

Grunnmotstanden består av rullemotstand og luftmotstand. Den spesifikke grunnmotstanden kan uttrykkes med formel (14), hvor rullemotstanden er $a + bV$ og luftmotstanden cV^2 .

$$w_o = a + bV + cV^2 \quad (15)$$

I denne oppgaven vil følgende formel, basert på praktiske forsøk, for spesifikk grunnmotstand bli benyttet:

$$w_o = 2,2 + 3 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 \quad (16)$$

En benytter som regel Røckls formel til å beregne den spesifikke kurvemotstanden:

$$w_r = \frac{650}{R_{min} - 60} \quad (17)$$

I følge Esveld (2001) er kurvemotstanden neglisjerbar ved kurveradius større enn 400 meter, men tidligere NSB (før JBV ble opprettet) så bort i fra kurvemotstanden ved kurveradius lik eller mindre enn 1100 meter (Holme, 1994).

Et tog som akselererer må ha tilgjengelig trekkraft til å overvinne akselerasjonsmotstanden. En kan finne den spesifikke akselerasjonsmotstanden ved bruk av formelen:

$$w_a = \frac{\rho}{g} a \quad (18)$$

Hvor ρ er massefaktoren til toget, som for elektriske lok varierer fra 1,05 til 1,30 og for godsvogner fra 1,02 til 1,1 (Holme, 1994). En kan uttrykke den samlede massefaktoren for et tog med formelen:

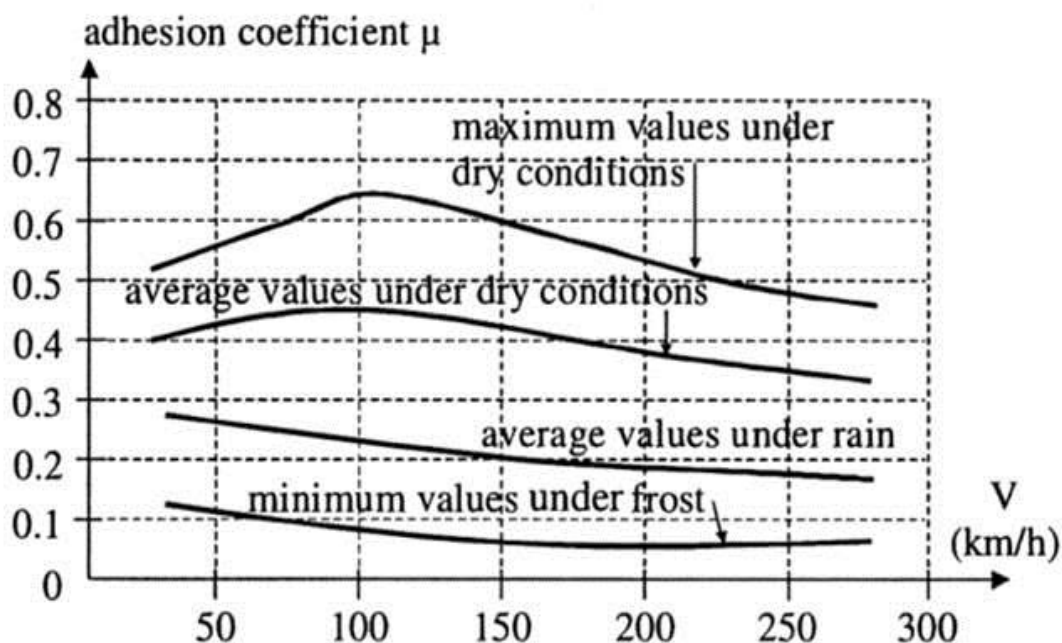
$$\rho = \frac{\rho_l m_l + \rho_v m_v}{m_l + m_v} \quad (19)$$

I stigning kan akselerasjonen uttrykkes med følgende formel:

$$a = (f - w_o - w_r - w_s) \cdot \frac{g}{\rho} \quad (20)$$

3.1.3 Adhesjonskoeffisient

Det ble nevnt i kapittel 3.1.2 at trekkraften kan være begrenset av adhesjonen. Adhesjonen er hovedsakelig avhengig av klimatiske forhold og hastighet. Holme (1994) skriver at tilgjengelig adhesjonen blir redusert med økende hastighet og varierer med været, den er størst i ved tørt vær og redusert ved regn, løv på skinnene og eventuell islegging av skinnene. Dog kom Ohyama (1991) frem til at adhesjonskoeffisienten bare endres marginalt ved tørre skinner og hastigheter opptil 300 km/t. Men ved våte skinner, i form av regn eller snø, oppstod det en betydelig reduksjon av adhesjonskoeffisienten (Ohyama, 1991). Esveld (2001) oppgir 0,1 og 0,25 som «globale» verdier ved henholdsvis våte og tørre skinner. Adhesjonskoeffisienten er her konstant. I henhold til figur 7 oppgir Profillidis (2014) gjennomsnittlige verdier ved tørre skinner til å variere fra omtrent 0,45 til 0,33 og gjennomsnittlig verdier for våte skinner fra omtrent 0,28 til 0,17. Verdiene kommer fra målinger på 80-tallet.



Figur 7: Adhesjonskoeffisient ved varierende klimatiske forhold og hastighet

Det eksisterer en rekke metoder for å beregne adhesjonskoeffisienten. Formlene er vanligvis avhengig av hastigheten. De tar blant annet ikke hensyn til hjuldiameter eller ulike drivanordninger på lokomotiv og motorvognsett.

Nedenfor følger tre formler for beregning av adhesjonskoeffisienten:

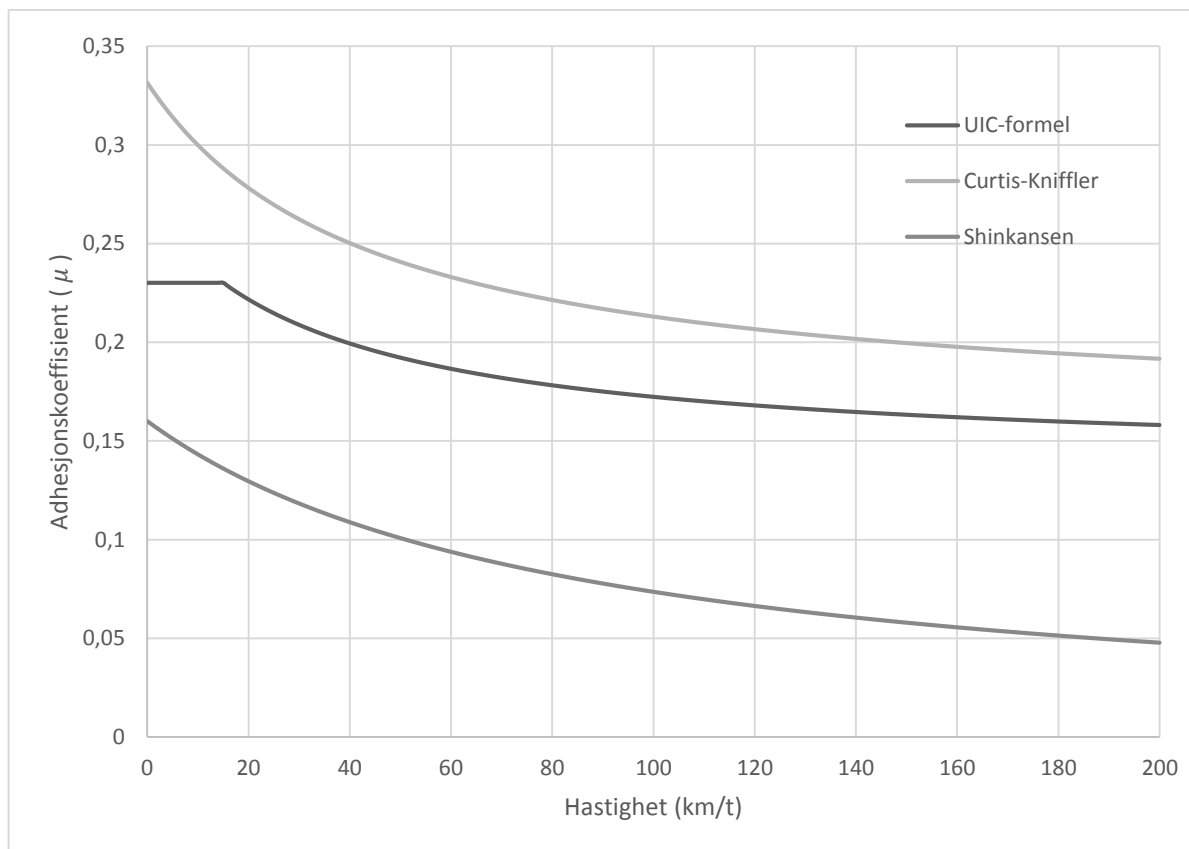
Curtis-Kniffler:
$$\mu = 0,161 + \frac{7,5}{V + 44} \quad (21)$$

UIC-formel:
$$\mu = 0,139 + \frac{4,48}{V + 34,2} \quad (22)$$

Shinkansen-formel:
$$\mu = \frac{13,6}{V + 85} \quad (23)$$

For «UIC-formelen» er øvre verdi for μ satt til 0,23 ved hastigheter lavere enn 15 km/t (Holme, 1994). «Shinkansen-formelen» gir adhesjonskoeffisient ved våte skinner (Ohyama, 1991).

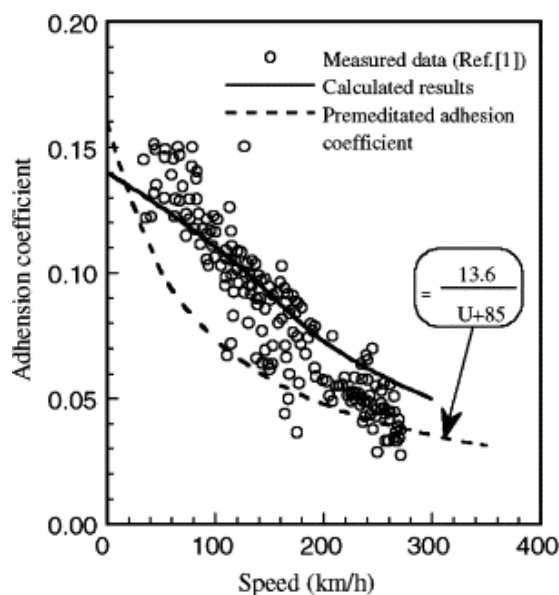
Figur 8 viser hvordan adhesjonskoeffisienten varierer med hastigheten ved bruk av Curtis-Kniffler, «Shinkansen-formelen» og «UIC-formelen».



Figur 8: Adhesjonskoeffisient ved varierende hastighet

Figur 9 illustrerer forskjellen mellom beregnet og målt adhesjonskoeffisient. Den beregnende adhesjonskoeffisienten er vist som en stiplet linje og målingene som runde symboler. Den heltrukne linjen viser adhesjonskurven til de målte verdiene, ved bruk av en numerisk analyse (Chen et al., 2002)

Målingene og beregningene av den teoretiske adhesjonskoeffisienten er gjort ved bruk av høyhastighetstoget Shinkansen, og er utført av den tidligere japanske statsbanen.



Figur 9: Adhesjonskoeffisient med varierende hastighet for Shinkansen

3.2 Krav og regler

3.2.1 Horisontalgeometri

Det tekniske regelverket til Jernbaneverket setter ingen spesifikke krav til horisontalgeometri for godstog, men har oppgitt dimensjonerende parametere, tabell 2, som en kan benytte til å beregne horisontalgeometri (Jernbaneverket, 2016d).

Tabell 2: Dimensjonerende parametere for nye baner og linjeomlegginger

Symbol	Normale krav	Minstekrav
R_{min}	250 m	190 m
h_{maks}	150 mm	
$h_{avsporing}$	$\frac{R - 100}{2}$ mm	
P_{maks}	1:400	
I_{maks}	R ≤ 600: 100 mm R > 600: 130 mm	
ψ_{maks}	0,33 m/s ³	0,46 m/s ³
ΔD_{maks}	35 mm/s	46 mm/s
E_{maks}	70 mm	100 mm
V_{min}	80 km/t	

Teknisk regelverk oppgir at persontrafikkbaner kan ha en overhøyde på 160 mm som normale krav og 180 mm som minstekrav (Jernbaneverket, 2016d). Esveld (2001) skriver at baner som trafikkeres av ensartet trafikk har en overhøyde opptil 180 mm. Det er ikke spesifisert om dette spesifikt gjelder persontrafikkbaner.

Sporveksler

I henhold til TRV bør sporveksler ligge på rettstrekninger, og de skal ikke plassere i sirkelkurver eller overgangskurver med større overhøyde enn 100 mm. Avstanden M er et minstekrav til avstanden fra sporveksel (fra bakkant eller stokkskinneskjøt) til overgangskurve, sirkelkurve eller påfølgende sporveksel (Jernbaneverket, 2016d).

Tabell 3 viser standard enkle sporveksler med maksimal hastighet i avvik, byggelengde og avstanden M, samt minste nødvendige rettlinje for å bygge en enkel sporveksel. For alle sporveksler, utenom 1:9 R190, er det tatt utgangspunkt i skinneprofil 60E1.

**Tabell 3: Oversikt standard enkel sporveksler (Jernbaneverket, 2016e)
(Jernbaneverket, 2016d)**

Sporvekseltype (stigning, radius)	Maksimal hastighet i avvik (km/t)	Byggelengde L (m)	M (m)	Minste rettlinje (L+2M)
1:9 R190	35	27,139 ¹	6	39,139 ¹
1:9 R300	40	33,23 ¹ 36,375 ²	6	45,23 ¹ 48,375 ²
1:12 R500	60	42,783 ¹ 44,103 ²	9	60,783 ¹ 62,103 ²
1:14 R760	80	54,216 ¹ 54,216 ²	12	78,216 ¹ 78,216 ²
1:15 R760	80	54,216 ¹ 54,216 ²	12	78,216 ¹ 78,216 ²
1:18,4 R1200	100	67,257 ²	15	97,257 ²
1:26,1 R2500	140	94,6 ²	18	130,6 ²

¹Fast skinnekryss

²Bevegelig skinnekryss

Avstand mellom spormidt

Teknisk regelverk oppgir at sporavstanden mellom spormidt ikke skal være mindre enn verdier oppgitt i tabell 4. Kurveutslag er inkludert for verdiene.

Tabell 4: Minste sporavstand (Jernbaneverket, 2016c)

Kurveradius (m)	Sporavstand (m)
$R < 350$	4,70
$350 < R < 500$	4,68
$500 < R < 600$	4,66
$600 < R < 1000$	4,64
$1000 < R < 4000$	4,60
$4000 < R < 5000$	4,56
$R > 5000$	4,40

3.2.2 Vertikalgeometri

For vertikalgeometrien har teknisk regelverk spesifikke krav, se tabell 5, til strekninger med blandet trafikk og persontrafikk. For blandet trafikk er det tillatt med et bestemmende fall/stigning på 20 ‰ over en lengde på 3 km etter «*inngående vurdering av stigningsforholdene på vedkommende banestrekning*» (Jernbaneverket, 2016d). For absolutt stigning er det tillatt med en stigning på 20 ‰ i en sammenhengende linje på inntil 300 meter på baner med blandet trafikk (Jernbaneverket, 2016d). Jernbaneverket (2016d) har begrunnet dette med risikoen for at godstog kan bli stående i maksimal stigning. Årsaken til begrensningene er ikke begrunnet med trekkraft, antall lokomotiv, tog lengde, togvekt eller adhesjon.

Tabell 5: Dimensjonerende parametere vertikalgeometri (Jernbaneverket, 2016d)

	Største bestemmende stigning/fall (‰)		Største absolutte stigning/fall (‰)	
	Blandet trafikk	Persontrafikk	Blandet trafikk	Persontrafikk
Normale krav	12,5	20	20	25
Minstekrav	20	25	30	35

3.2.3 Hastighet

Fra tabell 6 kan en se at den største tillate hastigheten for godstog er 100 km/t (Jernbaneverket, 2015d). Tabellen viser at hastigheten er begrenset av toglengde og bremsegruppe.

Tabell 6: Tillatt hastighet og toglengde (Jernbaneverket, 2015d)

Toglengde (m)	Maksimal hastighet (km/t)	Bremsegruppe
500	100	P
600	90	P
700	80	P
850	80	G

Den maksimale hastigheten er i tillegg begrenset av aksellast og sporetets overbygningsklasse. Klasse c og d er de vanligste overbygningsklassene for nye baner. Ut i fra tabell 7 kan en se at den øvre hastigheten for klasse c er 100 km/t ved en aksellast på 18 tonn. Boggiene muliggjør dog en hastighet på 110 km/t. For klasse d er maksimal hastighet 110 km/t ved aksellast på 18 tonn, men boggier er godkjent for en fremføringshastighet på 120 km/t. Ofotbanen tillater en aksellast på 30 tonn, men dette begrenser hastigheten til 50 km/t

**Tabell 7: Tillatt hastighet og maksimal aksellast for overbygningsklasse
(Jernbaneverket, 2016c)**

Overbygningsklasse	Godstog/arbeidsmaskiner		
	Nominell aksellast (tonn)	Maks hastighet (km/t)	Maks hastighet boggier godkjent iht. EN 14363 (km/t)
a	22,5	30	30
	16,5	70	70
b	22,5	30	30
	20,5	70	70
	18	80	80
c	22,5	80	90
	20,5	90	100
	18	100	110
c+	24	50	50
	22,5	90	100
	20,5	100	110
	18	110	120
d	25	70	70
	22,5	100	120
	18	110	120
Ofotbanen	30	50	50
	22,5	70	70

3.3 Resultater fra beregninger

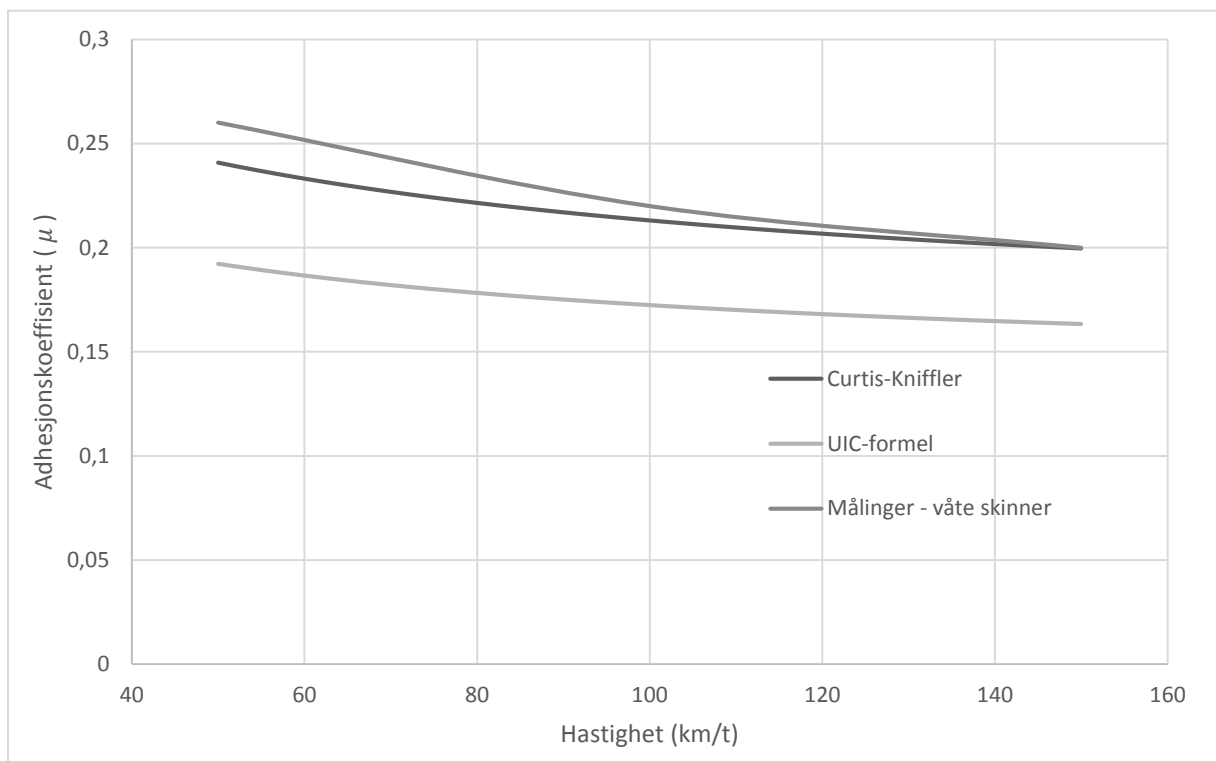
3.3.1 Vertikalgeometri

Figur 12,14 og 16 viser maksimal stigning for ulike hastigheter og total togvekt på 1500, 1400 og 1000 tonn. Grafene tar ikke hensyn til akselerasjonsmotstand og luftmotstand i tunneler.

Det er antatt at sirkelkurven er større enn 400 meter og at kurvemotstanden derfor er neglisjerbar. For ytterligere detaljer tilknyttet beregningene henvises det til vedlegg 3, 4 og 5.

Figur 13, 15 og 17 viser spesifikk akselerasjonsmotstand i en bestemt stigning. Hensikten er å vurdere om lokomotivene har tilstrekkelig trekkraft til å akselerere til ønsket hastighet.

Ut i fra figur 10 kan en se at verdien på adhesjonskoeffisienten fra Curtis-Kniffler og målingene fra våte skinner (kapittel 3.1.3) har en tilnærmet identisk utvikling. «UIC-formelen» har en verdi som ligger omtrent 0,05 under målingene fra våte skinner.



Figur 10: Sammenligning av adhesjonskoeffisient – formler og målinger

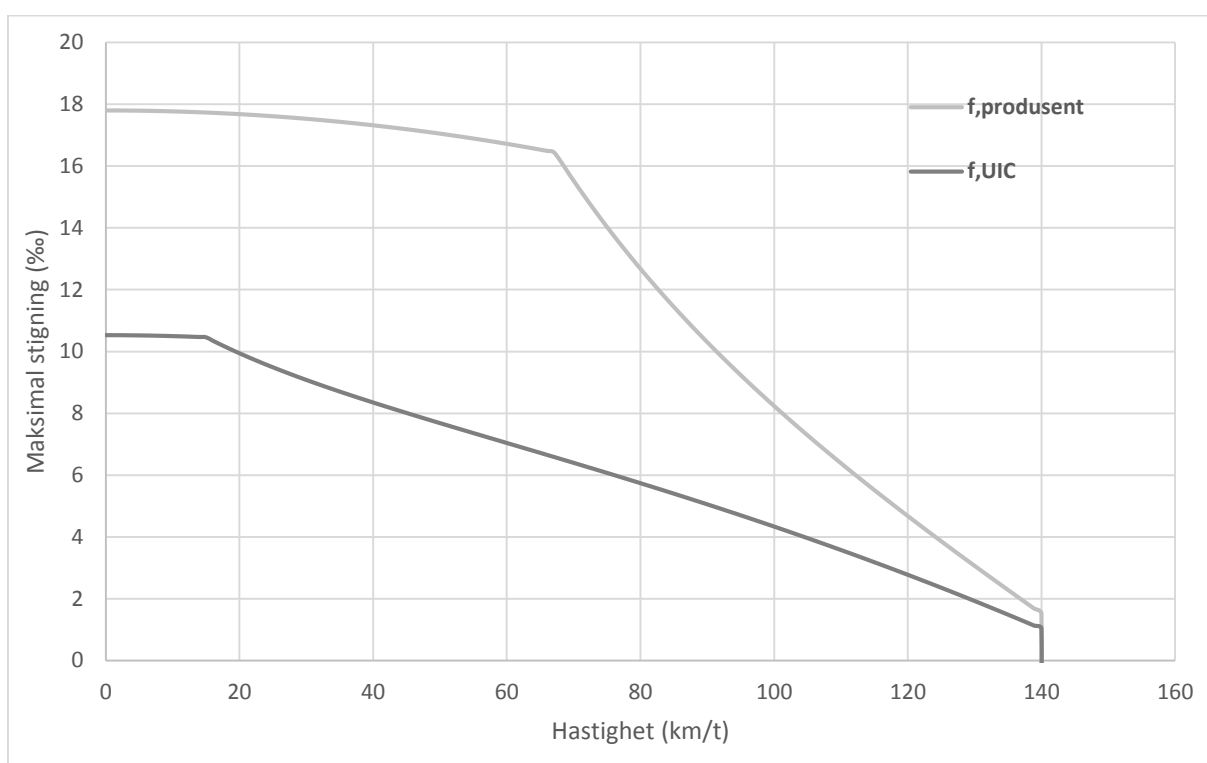
Selv om «UIC-formelen» har verdier som er lavere enn målingene, er formelen lagt til grunn for dimensjoneringen. Ved å benytte «UIC-formelen» gir det en sikkerhetsmargin i forhold til luftmotstand i tunneler og kurvemotstand, som ikke er tatt hensyn til i beregningene.

Det hadde vært naturlig å bruke adhesjonskoeffisient fra produsent, hvis en hadde hatt kjennskap til hvordan de har målt verdiene og under hvilke klimatiske forhold.

Lokomotivet Bombardier TRAXX F140 AC2 kommer meget dårlig ut av beregningene.

Årsaken til dette kan være at lokomotivet har bedre drivordninger/ «traction control» enn de andre lokomotivene, noe «UIC-formelen» ikke tar hensyn til. Imidlertid tar heller ikke Curtis-Kniffler hensyn til dette.

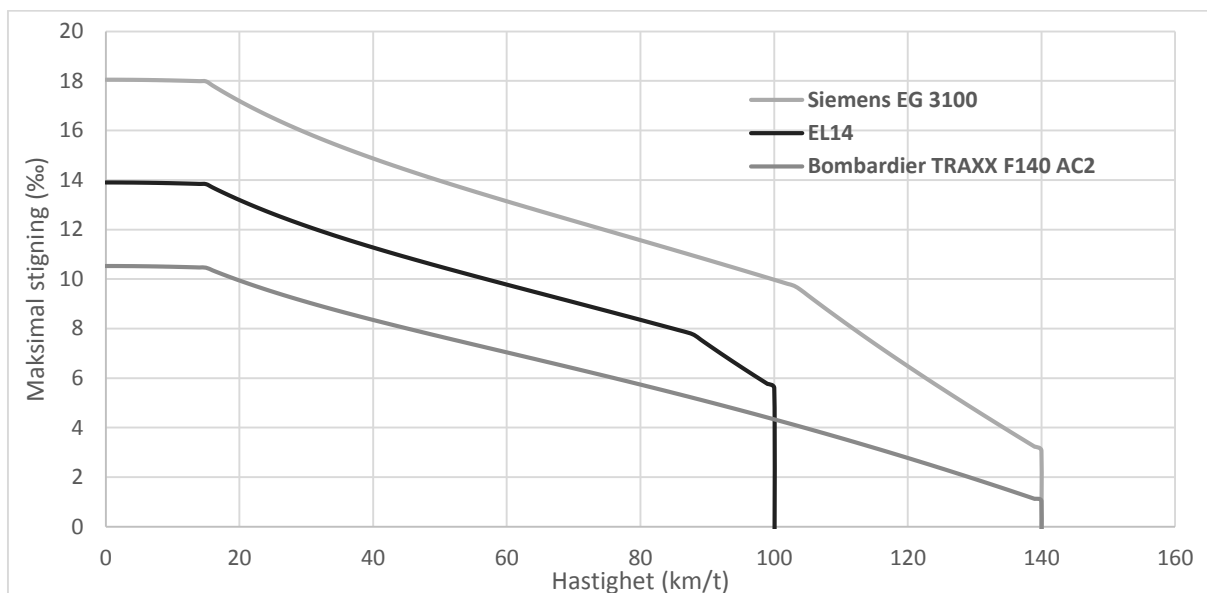
En annen mulig årsak er at de andre lokomotivene har 6 aksler, mens Bombardier TRAXX har 4 aksler. Figuren nedenfor viser forskjellen mellom maksimal stigning med adhesjonskoeffisient fra produsent og «UIC-formelen» ved 1500 tonn tunge tog. Det er tydelig at valg av adhesjonskoeffisient har stor betydning for resultatene.



Figur 11: Bombardier TRAXX maksimal stigning ved ulike adhesjonskoeffisienter

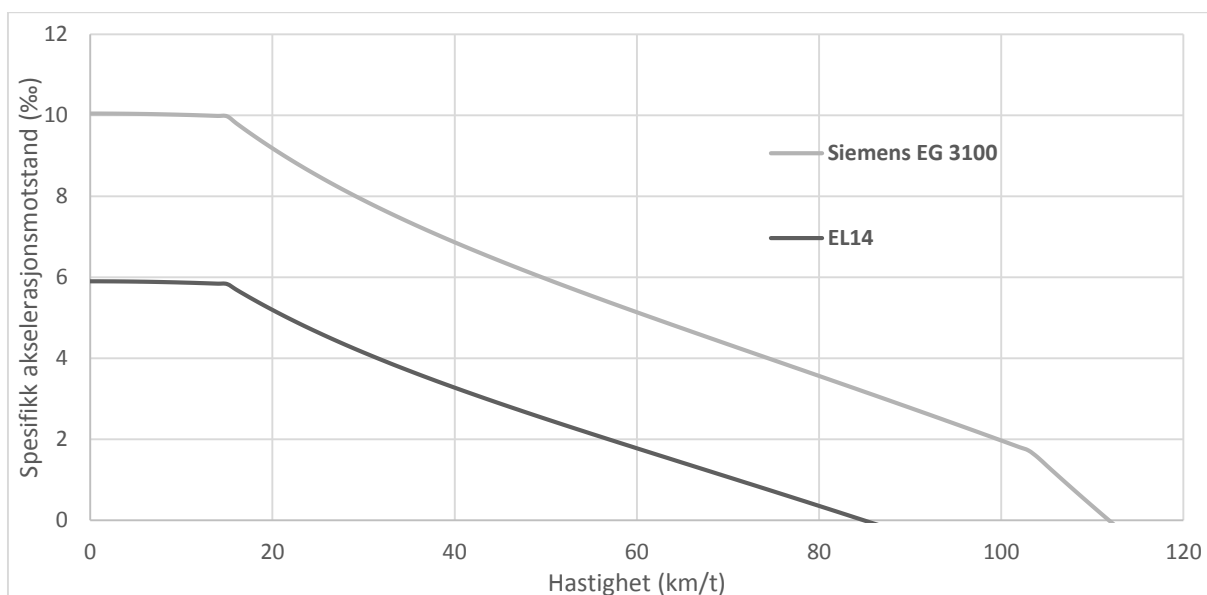
1500 tonn tunge tog

Figur 12 viser at det ikke er mulig å oppnå laveste hastighet henhold til teknisk regelverk, 80 km/t, ved 12,5 ‰ stigning og 1500 tonn tunge tog. Ved en hastighet på 80 km/t og 1500 tonn tunge tog kan Siemens EG 3100 håndtere en stigning på 11,5 ‰. I 80 km/t kan EL14 og Bombardier TRAXX F140 AC2, de vanligste lokomotivene for godstrafikk i Norge, håndtere en stigning på 8,35 og 5,75 ‰.



Figur 12: Maksimal stigning 1500 tonn tunge tog

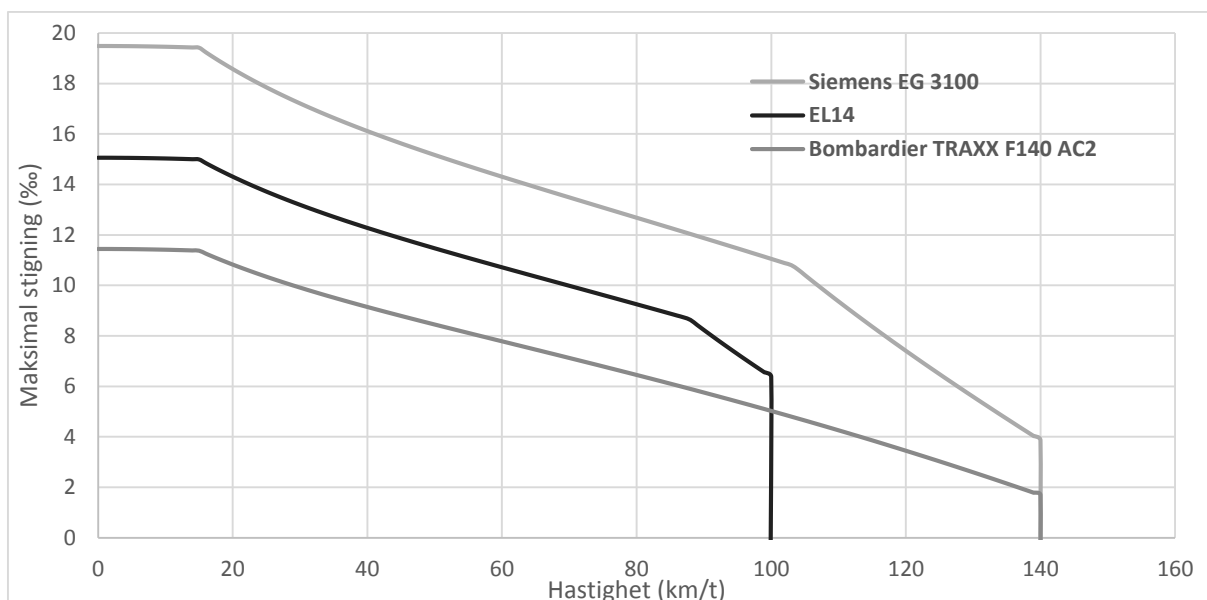
Stigningen kan ikke være større enn 8 ‰ hvis nåværende lokomotiv, som EL14, skal kunne trafikere banen. Fra figur 13 kan en se at Siemens EG 3100 har disponibel trekkraft til å akselerere til nærmere 110 km/t, og at EL14 kan akselerere til i overkant av 80 km/t i en stigning på 8 ‰.



Figur 13: Spesifikk disponibel trekkraft ved stigning på 8 ‰ og 1500 tonn tunge tog

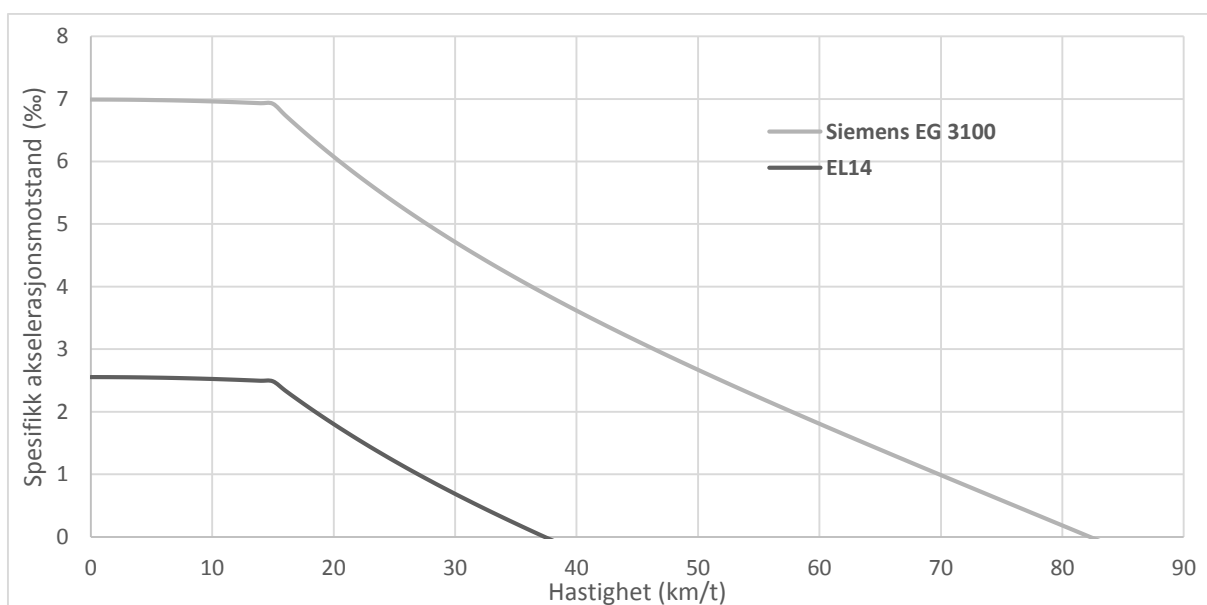
1400 tonn tunge tog

Figur 14 viser maksimal stigning for 1400 tonn tunge tog. Siemens EG 3100 kan klare en stigning på i overkant av 12,5 % i 80 km/t. I topphastighet kan lokomotivet klare en stigning på nærmere 4 %. Ved 80 km/t kan ikke EL14 og Bombardier TRAXX håndtere en større stigning større enn 9,2 og 6,4 %.



Figur 14: Maksimal stigning 1400 tonn tunge tog

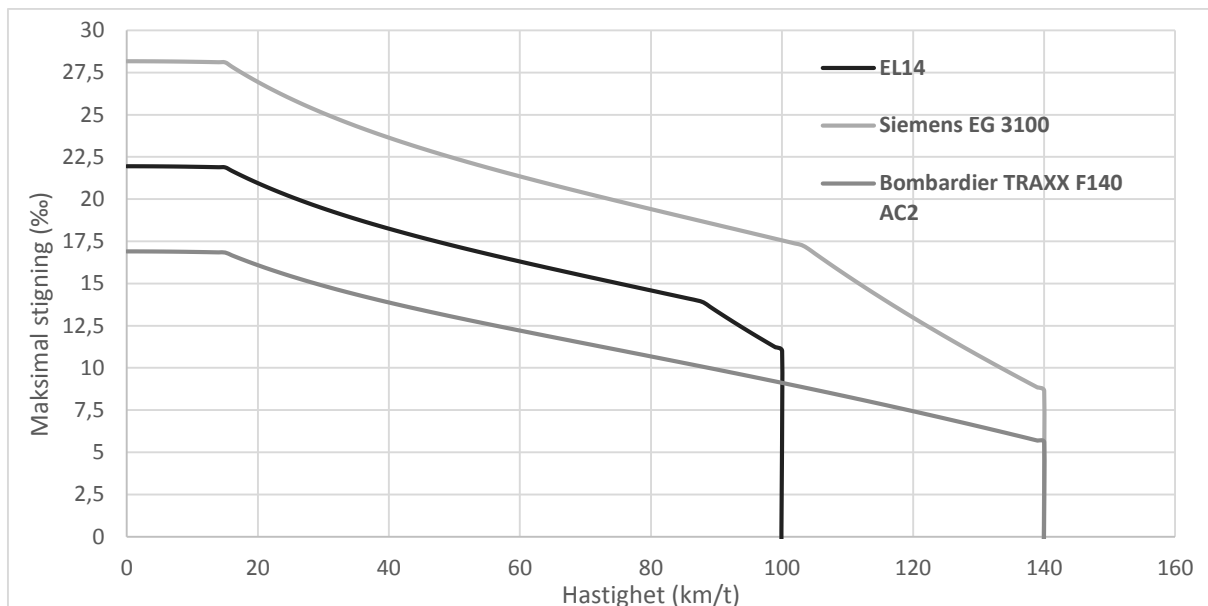
I 12,5 % stigning har Siemens EG 3100 disponibel trekkraft til å akselerere til omtrent 80 km/t. I henhold til figur 15 kan ikke EL14 oppnå en hastighet på 40 km/t ved akselerasjon fra 0 km/t.



Figur 15: Spesifikk disponibel trekkraft ved stigning på 12,5 % og 1400 tonn tunge tog

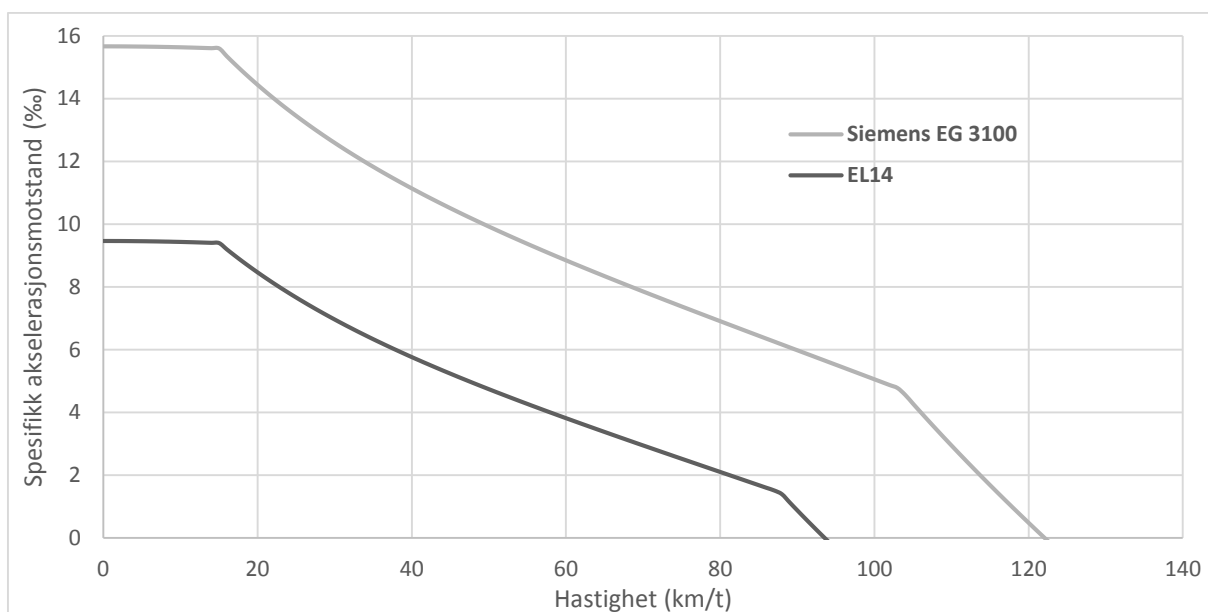
1000 tonn tunge tog

Figuren nedenfor viser maksimal stigning for 1000 tonn tunge tog. EL14 klarer en stigning på 12,5 % i over 90 km/t. Ved samme stigning kan Siemens EG 3100 oppnå en fremføringshastighet på over 120 km/t. Bombardier TRAXX klarer en stigning på 10,6 % i 80 km/t.



Figur 16: Maksimal stigning 1000 tonn tunge tog

Som figur 17 illustrerer kan EL14 og Siemens EG 3100 akselerere til henholdsvis 90 og 120 km/t i en stigning på 12,5 %.



Figur 17: Spesifikk disponibel trekkraft ved stigning på 12,5 % og 1000 tonn tunge tog

3.3.2 Aksellast og tog lengde

Tabell 8,9 og 10 viser sammenhengen mellom oppfyllingsgrad i vogner, aksellast og tog lengde inkludert lokomotiv, for 1500, 1400 og 1000 tonn tunge tog. Oppfyllingsgrad er her definert som andel nyttelast av den totale lastekapasiteten. Det er forutsatt kombitog med Siemens EG 3100 lokomotiv og Sgss-y containervogner. Sgss-y-vognene er 20 meter lange og har en bruttovekt på 22,0 tonn (Troche, 2005). For flere detaljer henvises det til vedlegg 6.

Hvis togene skal være 750 meter lange kan oppfyllingsgraden maksimal være 25 %. 750 meter lange og 1500 tonn tunge godstog kan ha en aksellast i underkant av 20,5 tonn. For 1400 tonn tunge og 750 meter lange godstog kan aksellasten være i underkant av 18 tonn. Dette viser at aksellasten ikke er begrensende for hastigheten. Imidlertid forutsetter det at en utnytter hele nyttelasten i alle vognene. For vognlast og tømmer tog kan det gjelde andre verdier.

Tabell 8: Tog lengder ved ulike aksellaster - 1500 tonn tunge tog

Oppfyllingsgrad	Aksellast 25 t	Aksellast 22,5 t	Aksellast 20,5 t	Aksellast 18 t
25 %	680 m	723 m	760 m	814 m
50 %	470 m	510 m	547 m	603 m
75 %	361 m	396 m	429 m	481 m
100 %	295 m	325 m	355 m	401 m

Tabell 9: Tog lengder ved ulike aksellaster - 1400 tonn tunge tog

Oppfyllingsgrad	Aksellast 25 t	Aksellast 22,5 t	Aksellast 20,5 t	Aksellast 18 t
25 %	632 m	671 m	706 m	756 m
50 %	437 m	474 m	509 m	561 m
75 %	336 m	368 m	400 m	447 m
100 %	275 m	303 m	330 m	373 m

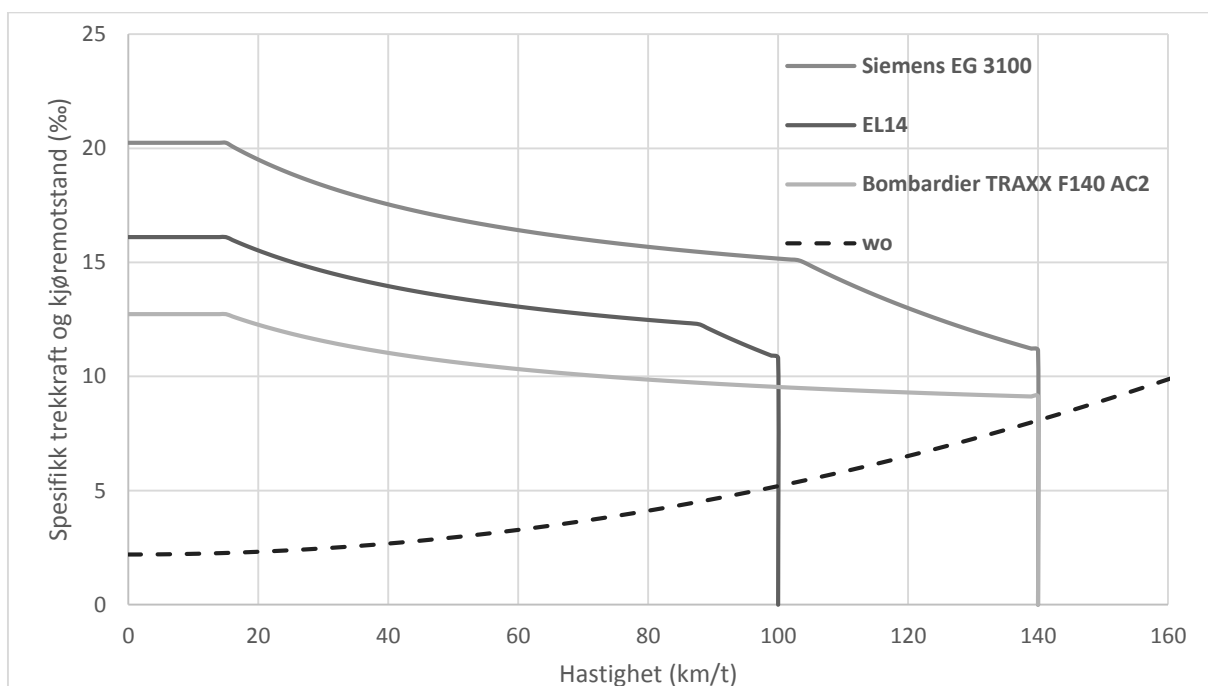
Tabell 10: Tog lengder ved ulike aksellaster - 1000 tonn tunge tog

Oppfyllingsgrad	Aksellast 25 t	Aksellast 22,5 t	Aksellast 20,5 t	Aksellast 18 t
25 %	715 m	793 m	868 m	985 m
50 %	368 m	407 m	444 m	503 m
75 %	252 m	278 m	303 m	342 m
100 %	195 m	214 m	233 m	262 m

3.3.3 Hastighet

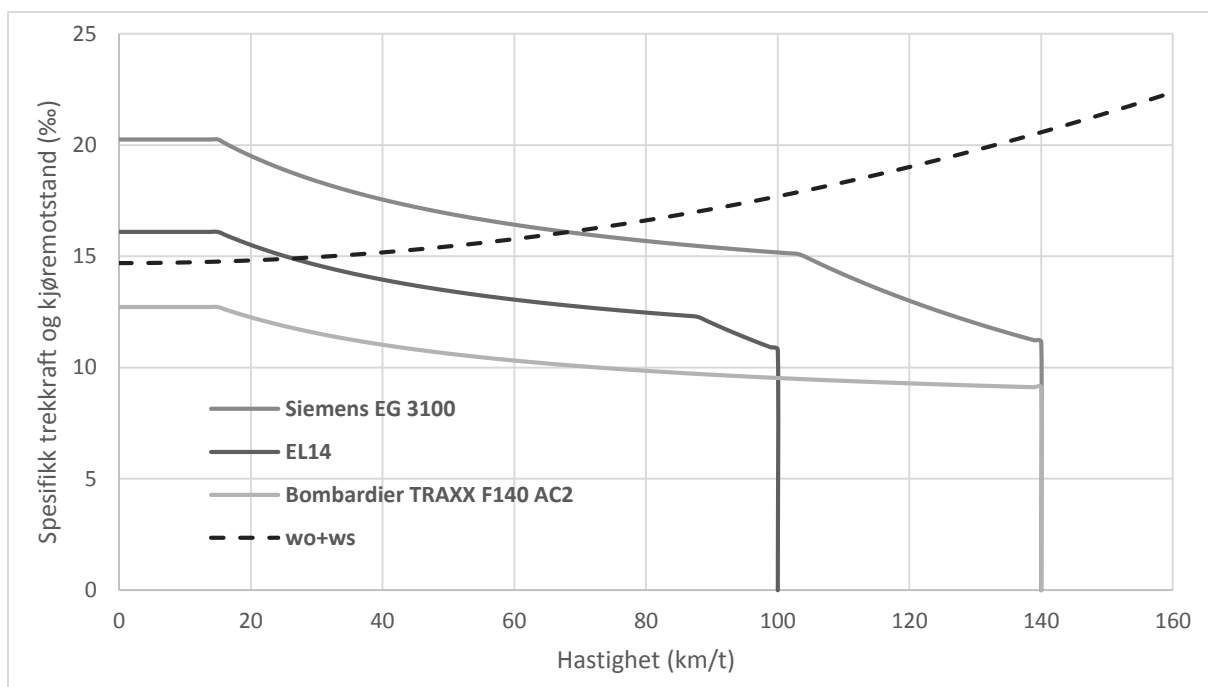
Grafene i dette kapitlet viser spesifikk trekkraft og spesifikk kjøremotstand med hensyn på hastighet. Spesifikk trekkraft er beregnet for Siemens EG 3100, EL14 og Bombardier TRAXX F140 AC2. «UIC-formelen» er benyttet som adhesjonskoeffisient, av samme grunn som for beregningene for maksimal stigning. For spesifikk stigningsmotstand er det i henhold til teknisk regelverk benyttet en stigning på 12,5 ‰ stigning. Det er ikke tatt hensyn til akslerasjonsmotstand, luftmotstand i tunneler og det er antatt at rullestanden er neglisjerbar på grunn av kurveradius.

Fra figur 18 kan en se at den begrensende faktoren for hastigheten på rettlinje er den maksimale hastigheten til lokomotivet. Den maksimale hastigheten gjelder for 1500 tonn tunge tog, og derfor vil det samme gjelde for tog med lavere togvekt.



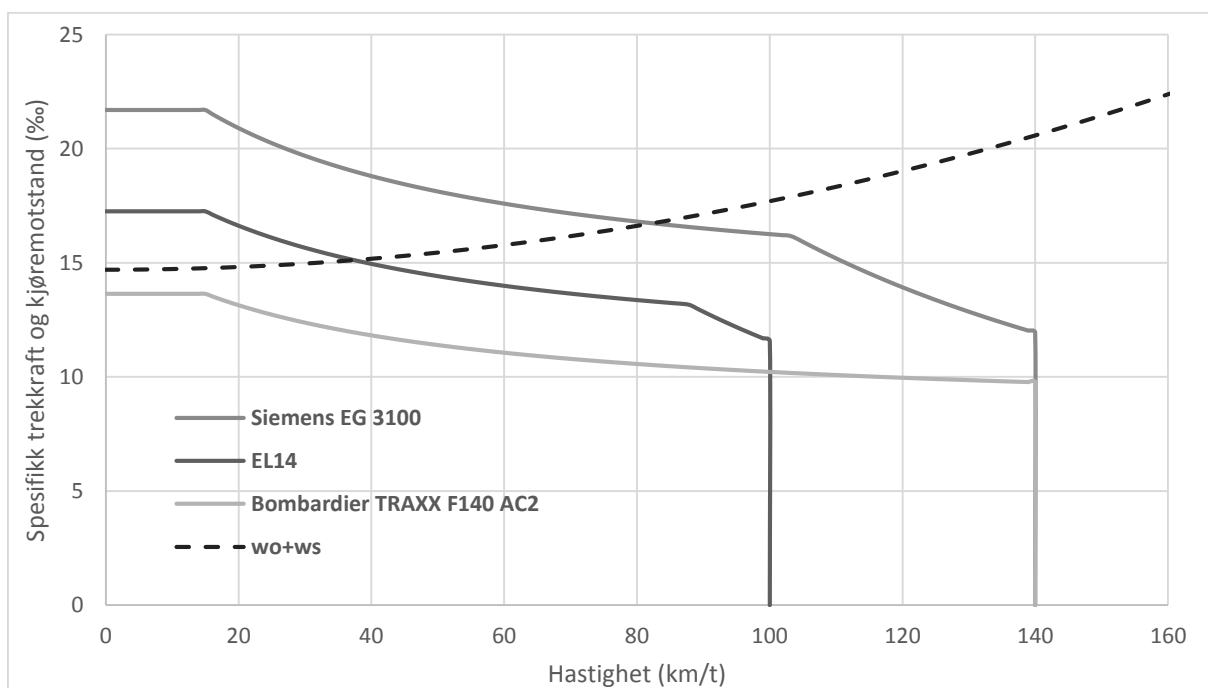
Figur 18: Maksimal hastighet for 1500 tonn tunge tog uten stigning

Figur 19 viser at ingen av lokomotivene kan oppnå en hastighet på 80 km/t med 12,5 % stigning og samlet togvekt på 1500 tonn.



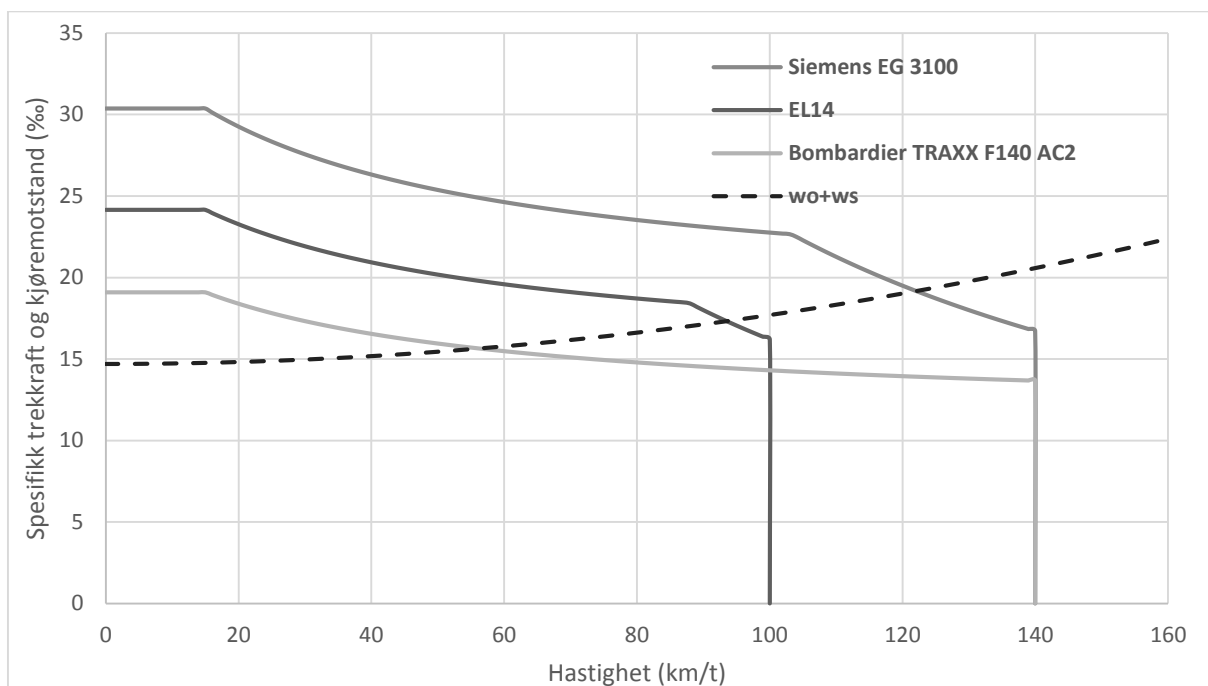
Figur 19: Maksimal hastighet for 1500 tonn tunge tog i 12,5 % stigning

Siemens EG 3100 kan ikke oppnå en høyere hastighet enn 80 km/t i en stigning på 12,5 % og 1400 tonn tunge tog. Ut i fra figuren nedenfor kan man se at ingen av de andre lokomotivene kan kjøre i 80 km/t ved samme forutsetninger.



Figur 20: Maksimal hastighet for 1400 tunge tog i 12,5 % stigning

Fra figur 21 kan en se maksimal hastighet for ulike lokomotiv i en stigning på 12,5 ‰ med 1000 tonn tunge tog. Gitt disse forutsetningene kan Siemens EG 3100 og EL14 oppnå en hastighet på henholdsvis 120 og 90 km/t.



Figur 21: Maksimal hastighet for 1000 tonn tunge tog i 12,5 ‰ stigning

3.3.4 Horisontalgeometri

På bakgrunn av at baner med ensartet trafikk kan ha en overhøyde på opptil 180 mm, er det beregnet minste kurveradius med maksimal overhøyde på 150 mm og 180 mm. I beregningene er det benyttet grenseverdier fra teknisk regelverk for manglende overhøyde, rampestigning, rampestigningshastighet og rykk. For ytterligere detaljer henvises det til vedlegg 2.

I tabell 11 er beregningene sammenstilt med verdier fra JBV sin traseringsstabell for hastighet på 140 km/t.

Tabell 11: Minste verdier for horisontalgeometri fra TRV og beregninger, ved V=140 km/t

	Kurveradius (m)	Normale krav		Minstekrav	
		L (m)	h (mm)	L (m)	h (mm)
Teknisk regelverk (Jernbaneverket, 2016d)	850	161	145	123	145
Beregning $h_{\text{maks}} = 150$ mm	810	167	150	127	150
Beregning $h_{\text{maks}} = 180$ mm	732	200	180	152	180

Verdiene fra teknisk regelverk og beregningen for maksimal overhøyde på 150 mm burde vært like. En årsak til forskjellen kan være at tyngdens akselerasjon er rundet opptil 10 m/s^2 i denne oppgaven. Imidlertid blir minste kurveradius 826 m ved $9,81 \text{ m/s}^2$ som tyngdens akselerasjon. Med samme verdi for tyngdens akselerasjon blir kurveradiusen 840 meter, ved overhøyde på 145 mm og 161 meter lang overgangskurve.

Beregningene for maksimal overhøyde på 180 mm har større overskuddshøyde enn det normale kravet t.o.m. kurveradius på 760 meter. Overskuddshøyden er imidlertid innenfor minstekravet.

3.4 Diskusjon

Stigning

Hvis banen har en stigning på 12,5 ‰ må togoperatørene benytte 2 eller flere lokomotiv for å trafikere banen med 1500 tonn tunge tog. Det samme gjelder for trafikk på det eksisterende jernbanenettet. Togoperatørene kan eventuelt spesialbestille lokomotiv som kan trekke 1500 tonn tunge tog i minst 80 km/t ved 12,5 ‰ stigning. Dog medfører kraftigere lokomotiv sannsynligvis høyere aksellast på lokomotivene. Høyere aksellast kan bety at jernbanenettet som trafikeres med godstrafikk må forsterkes. En forsterkning av overbygning og underbygning på hele jernbanenettet kan bli meget tidkrevende og kostbart. Derfor kan et alternativ til kraftigere lokomotiv være lokomotiv med flere drivende aksler for å øke trekraften. Imidlertid er det sporteknisk begrenset hvor stor trekraft som kan utnyttes over kortere sporelengde uten at det fører til nedbrytning av sporet. Samtidig er det viktig å påpeke kraftigere lokomotiv eller lokomotiv med flere drivende aksler egentlig et spørsmål om lønnsomhet for transportforetakene. Dog så lenge aksellasten til lokomotivene er innenfor tillatt aksellast.

Ved en stigning på 10 ‰ og togvekt på 1500 tonn kan ikke togene benytte eksisterende jernbanenett uten hjelpelokomotiv. Dette fordi stigningene på eksisterende jernbanenett er større enn 10 ‰. Det kan derfor være interessant å snu på problemstillingen og begrense togvekten istedenfor stigningen. Spesielt med tanke på eksisterende lokomotiv.

En eventuell separate godsbane til Alnabru godsterminal langt frem i tid, noe som øker sjansen for at det eksisterer kraftigere og tyngre lokomotiv på markedet. Dette kan bety at det er mulig å trafikere jernbanen med 1500 tonn eller tyngre tog.

Hastighet

Den maksimale tillatte hastigheten på det norske banenettet er 100 km/t, men lokomotiv og sporet sammen med aksellasten muliggjør hastigheter opp til henholdsvis 140 km/t og 110 km/t. Beregningene i kapittel 3.3.2 viser at aksellast ikke er begrensende for hastigheten. Samtidig er det mulig å kjøre 750 meter lange godstog i 120 km/t i Nederland.

En eventuell godsforbindelse til Alnabru kommer ikke med det første, og hvis den først blir bygget vil den eksistere i mange år. Mye av det eksisterende jernbanenettet er 100 år gammelt, og det er derfor viktig å bygge for fremtiden.

Horisontalgeometri

Horisontalgeometrien fra teknisk regelverk og beregning for maksimal overhøyde på 150 mm burde vært like. Selv når tyngdens akselerasjon ble endret til $9,81 \text{ m/s}^2$, var verdiene ulike. Det kan være en feil i traseringstabellen i teknisk regelverk, ulike formler eller annen inndata for sporvidde. En annen mulig årsak er at det ligger en vurdering fra Jernbaneverket til grunn som kandidaten ikke har kjennskap til.

Det er sett bort i fra beregningene med maksimal overhøyde på 180 mm, fordi det gir større overskuddsoverhøyde enn de normale kravene i teknisk regelverk. Imidlertid er teoretisk mulig å benytte resultatene fra beregningene. Stor overskuddsoverhøyde øker risikoen for forflytning av vognlasten, samt avsporing ved stopp i sirkelkurven på grunn av ujevn fordeling av lasten.

I henhold til teknisk regelverk skal ikke sporavstanden på fri linje være mindre enn 4,64 meter ved kurveradius mellom 600 og 1000 meter. Dette er et minstekrav som bare tar hensyn til at møtende tog ikke skal krasje. Det tar ikke hensyn til behov for eventuelle kabelkummer, gjerder eller lignende. I tillegg kommer denne oppgaven til å se på linjeføringen på et overordnet nivå. Hvis linjeføringene fra oppgaven eventuelt skal brukes i en senere fase vil det trolig være behov for optimalisering. Det kan derfor være lurt å ha større avstand enn minstekravet i teknisk regelverk.

En fordel med små sporveksler er at de tar mindre plass. Samtidig reduserer de hastigheten i avvik og tog som skal kjøre i avvik må bremse tidligere. For store sporveksler er problemstillingen motsatt. Tidlig nedbremsing kan også føre til redusert fremføringshastighet og kjøretid for påfølgende tog.

3.5 Konklusjoner - dimensjonerende sporgeometri

Stigning

Det er ikke mulig å dimensjonere banen i henhold teknisk regelverk, med 12,5 ‰ stigning, hvis en skal benytte 1 lokomotiv og 1500 tonn tunge tog i 80 km/t. For at eksisterende lokomotiv skal kunne benytte godsbanen og eksisterende jernbanenett er det lagt til grunn en togvekt på 1000-1400 tonn og 12,5 ‰ stigning.

Hastighet

Det er lagt til grunn en dimensjonerende hastighet på 140 km/t, fordi det er teoretisk mulig å kjøre i 120 km/t i 12,5 ‰ stigning. I tillegg er det viktig å bygge for fremtiden i med tanke på levetiden til banen. Den laveste tillatte hastigheten er i henhold til teknisk regelverk satt til 80 km/t.

Horisontalgeometri

Ettersom det kan være en feil i traseringstabellen til teknisk regelverk har beregningene for maksimal overhøyde på 150 mm blitt fastsatt som dimensjonerende. Det er sett bort i fra beregningen for overhøyde på 180 mm. Dette fordi det eksisterer fare for forflytning av lasten og avsporing i sirkelkurver ved ujevn fordeling av lasten.

Det skal minst benyttes sporvekseltype 1:14 R760 eller 1:15 R760, og helst 1:18,4 R120. Dette for å hindre at godstog må redusere hastigheten betydelig ved kjøring i avvik, samt at eventuell hastighetsreduksjon skal være minimal og ha minst mulig innvirkning for påfølgende tog.

På fri linje er det forutsatt minimum 5,0 meter mellom spormidt. Dette fordi oppgaven er på et overordnet nivå, og det er viktig å ha noe tilgjengelig areal for eventuell optimalisering av sporplanen i en senere fase.

3.5.1 Oppsummering

Dimensjonerende parameterne for godsbanen er sammenstilt i tabell 12.

Tabell 12: Dimensjonerende sporgeometri

Parameter	Normale krav	Minstekrav
$V_{dimensjonerende}$	140 km/t	
V_{min}	80 km/t	
R_{min}	810 m	
h_{maks}	150 mm	
L_{min}	167 m	152 m
Minste sporveksel	1:18,4 R1200	1:15 R760/1:14 R760
Maksimal stigning	12,5 ‰	
Maksimal total togvekt	1000 - 1400 tonn ¹	
Sporavstand – fri linje	5,0	4,4

¹Avhengig av lokomotiv, banen kan trafikkeres av tog med høyere vekt bruk 2 eller spesiallaget lokomotiv

4 Eksisterende situasjon

4.1 Jernbane

4.1.1 Østfoldbanen vestre linje

Østfoldbanens vestre linje starter ved Oslo S og går til Kornsjø, hvor banen går videre inn i Sverige. Fra Oslo Sentralstasjon til Ski stasjon består banen av 24 km med dobbeltspor (Bjerke et al., 2013), og går gjennom kommunene Oslo, Oppegård og Ski. Mellom Kolbotn og Vevelstad er det stasjoner på Kolbotn (km 12,88), Solbråtan (km 14,05), Myrvoll (km 15,72), Greverud (km 17,36) og Oppegård (km 18,26) (Bjerke et al., 2013).

Sporgeometri

Mellom Kolbotn og Vevelstad er sporgeometrien preget av sirkelkurver og overgangskurver. Grunnlaget i dette delkapittelet er hentet fra løfteskjema for Østfoldbanen fra Jernbaneverket (2016b). På høyre hovedspor er største kurveradius er 3150 m og minste er 266 m.

Overhøyden varierer fra 0 til 150 mm. Det eksisterer syv rettlinjer mellom Kolbotn og Vevelstad, tabellen nedenfor viser lengde og beliggenhet. Eksisterende rettlinjer er interessant på grunn av plassbehov til sporveksler.

Tabell 13: Oversikt over rettlinjer mellom Kolbotn og Vevelstad for høyre hovedspor

Rettlinje	Beliggenhet	Venstre hovedspor Lengde (m)	Høyre hovedspor Lengde (m)
1	På Kolbotn stasjon	20	50
2	Mellom Kolbotn og Solbråtan stasjon	80	65
3	På Solbråtan stasjon	100	95
4	Mellom Solbråtan og Myrvoll stasjon	66	56
5	På Myrvoll stasjon	29	143
6	Mellom Myrvoll og Greverud stasjon	106	95
7	Mellom Greverud og Oppegård stasjon	116	122

Største stigning mellom Kolbotn og Vevelstad er på 12 %. Banen stiger fra Oppegård mot Myrvoll, fra Myrvoll faller banen mot Kolbotn.

Trafikk

Banen trafikkeres med lokaltogene L2, L21 og L22, samt regiontoget R20, godstog og innsatstoget L2X i rushet. Figur 22 viser at persontogene har ulike stoppmønstre.



Figur 22: Linjekart Østfoldbanen (NSB, 2016)

På grunn av den tette lokaltogtrafikken med hyppige stopp mellom Oslo og Ski er det ikke kapasitet til flere tog i rushet (Jernbaneverket). De hyppige stoppene begrenser hastigheten og reisetiden for tog som ikke stopper. I tillegg legger lokaltogtrafikken begrensninger på hvor en bør plassere en avgreining til Alnabru godsterminal. Hvis avstanden fra Ski stasjon, som vil få egne kryssingsspor for godstog, er for lang kan det være behov for kryssingsspor mellom avgreiningen og Ski stasjon.

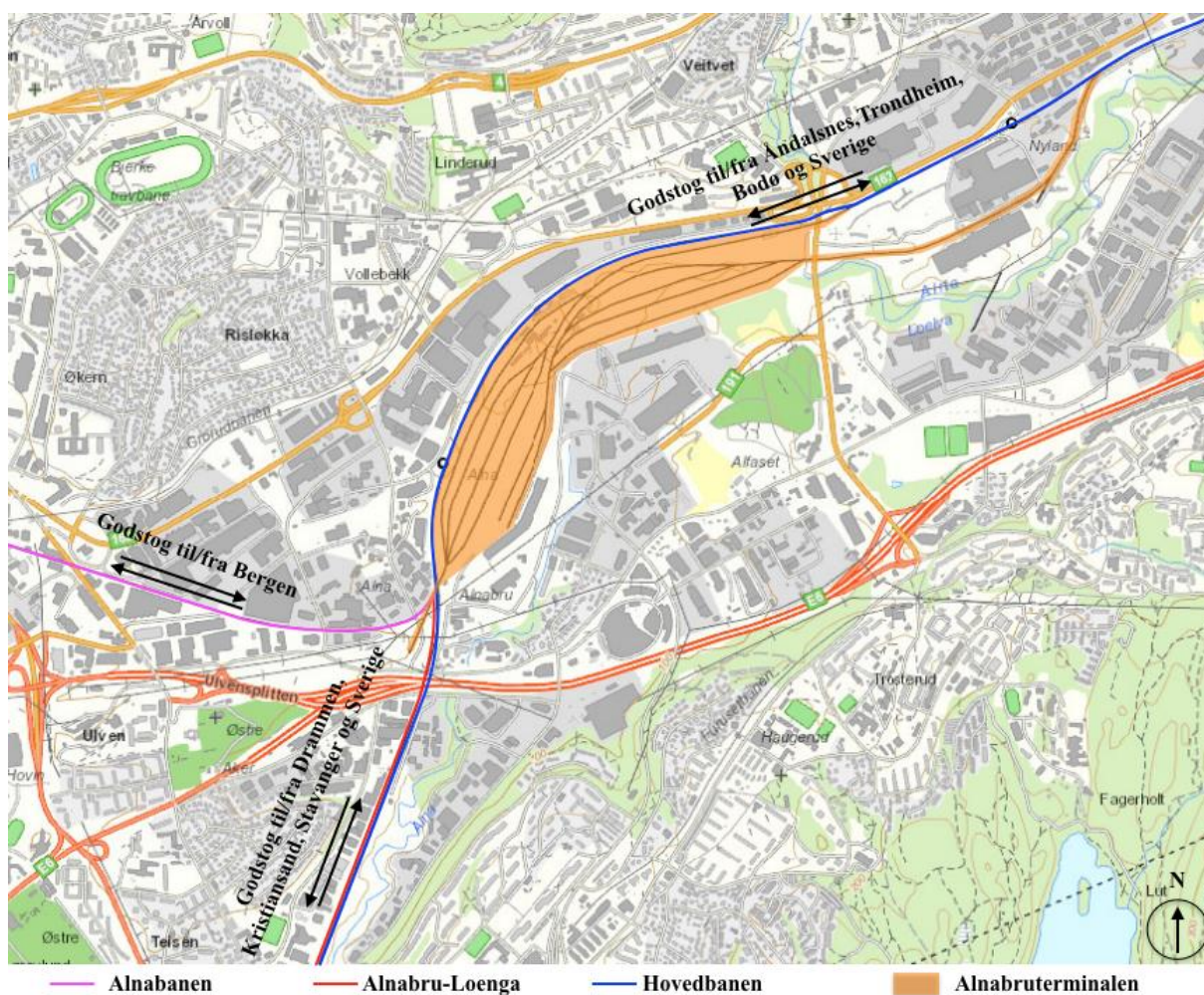
Godstrafikken utgjør 5% av trafikken på Østfoldbanen. (Jernbaneverket) og i 2006 gikk det 9 godstog om dagen per retning med en typisk lengde på 540 meter (Jernbaneverket, 2015c)

4.1.2 Alnabru godsterminal

Alnabru godsterminal, oransje område figur 23, er lokalisert nord-øst i Oslo, i Groruddalen. Terminalen er navet i norsk godstransport, og håndtere 85 % av godsmengden på jernbane i 2014 (Jernbaneverket, 2015a). Lastesporene har varierende lengde, fra 380 til 740 meter, men lengden på godstogene er begrenset av ankomst- og avgangssporene på terminalen, som har en lengde på 370 til 668 meter (Jernbaneverket, 2015a).

Figur 23 viser at terminalen tilknyttet Alnabanen og godssporet Alna-Loenga i sør. Alnabanen er tilknyttet Gjøvikbanen og blir benyttet av godstrafikk til/fra Bergen (Jernbaneverket, 2015a). Godssporet Alnabru-Loenga blir brukt av godstog til/fra Drammen, Kristiansand og Stavanger via kobling til Hovedbanen (Jernbaneverket, 2015a).

Godstog til/fra Østfold og Sverige benytter Østfoldbanen via godssporet Alnabru-Loenga (Jernbaneverket, 2015a). I nord har terminalen to direkte koblinger til Hovedbanen som blir benyttet av godstog til/fra Åndalsnes, Trondheim, Bodø og Sverige via Charlottenberg (Jernbaneverket, 2015a).

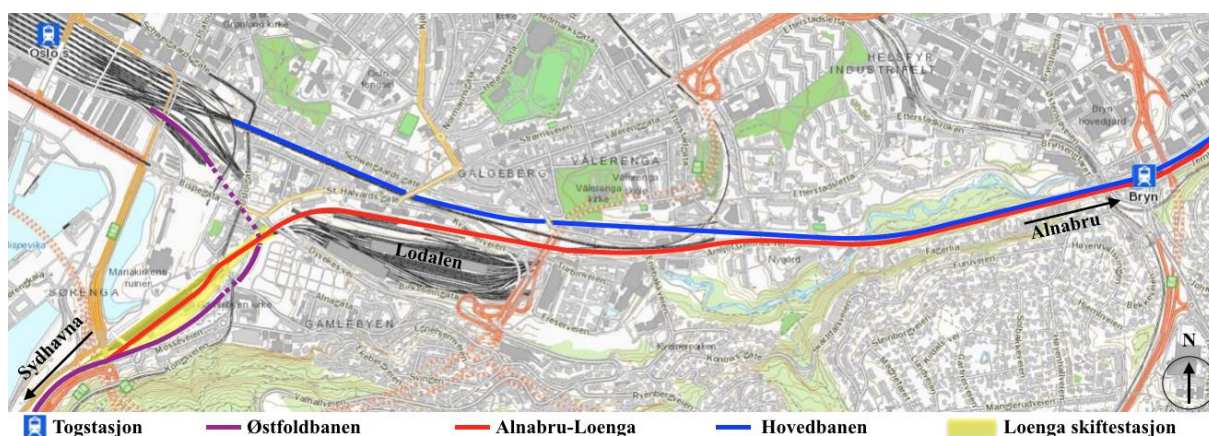


Figur 23: Oversikt over baner tilknyttet Alnabruterminalen - Grunnkart: (Jernbaneverket, 2016a)

4.1.3 Godssporet Alnabru-Loenga

Østfoldbanen har en avgreining i plan til Loenga skiftestasjon, gult område i figur 24. Fra Loenga skiftestasjon går det et enkeltspor godsspor, rød linje i figur 24 på 7,3 km til Alnabru godsterminal og et spor til Sydhavna (Jernbaneverket, 2013).

Godssporet Alnabru-Loenga går tilnærmet parallelt med Hovedbanen fra Lodalen til Bryn stasjon. Etter Bryn stasjon greiner godssporet av til Alnabruterminalen i en planskilt løsning under Hovedbanen. Godssporet er koblet til Hovedbanen etter Lodalen og ved Bryn stasjon.



Figur 24: Oversikt over godssporet mellom Loenga og Bryn - Grunnkart: (Jernbaneverket, 2016a)

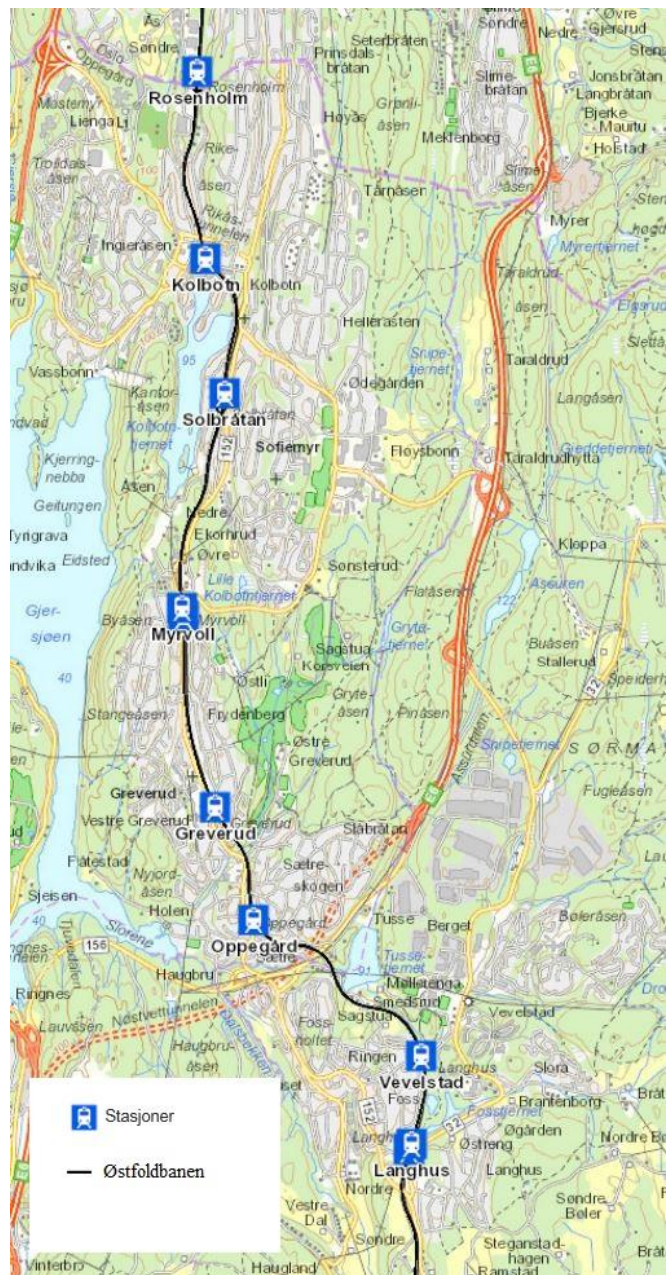
På grunn av godssporet trenger ikke godstrafikk fra Østfoldbanen å kjøre via Oslo S, men mellom Loenga og Bryn stasjon er det en stigning, Brynsbakken, på 25,6 % (Bjerke et al., 2013). Brynsbakken medfører en maksimal tillatt togvekt på 800 tonn, men tyngre tog kan benytte godssporet ved bruk av hjelpelokomotiv (Jernbaneverket, 2013). Hjelpelokomotiv blir koblet på togsettene på Loenga skiftestasjon, noe som reduserer kapasiteten på grunn skiftebevegelser og spor avsatt til hensetting (Jernbaneverket, 2013).

4.2 Oppedgård kommune

4.2.1 Bebyggelse og friområder

I Oppedgård kommune er det nærmere 27 000 innbyggere (Statistisk sentralbyrå) og befolkningsframskrivninger viser at kommunen vil ha omtrent 31 000 innbyggere i 2026 (Statistisk sentralbyrå).

Figur 25 illustrerer at bebyggelsen i kommunen hovedsakelig er lokalisert langs Østfoldbanen og områder med nærhet til togstasjonene. Det er lite bebyggelse sørøst for Kolbotn stasjon. Ut fra kartet, figur 25, kan en se at det er lite bebyggelse mellom Solbråtan og Myrvoll stasjon. Bebyggelsen langs Østfoldbanen består hovedsakelig av boliger, som flere steder ligger omkring 20 meter fra spormidtd. Friområdene i kommune er lokalisert øst for jernbanen mellom E6 og bebyggelsen, samt vest for jernbanen mellom bebyggelsen og Gjersjøen.



Figur 25: Oversiktskart Østfoldbanen Rosenholm-Langhus - Grunnkart: (Jernbaneverket, 2016a)

4.2.2 Annen infrastruktur

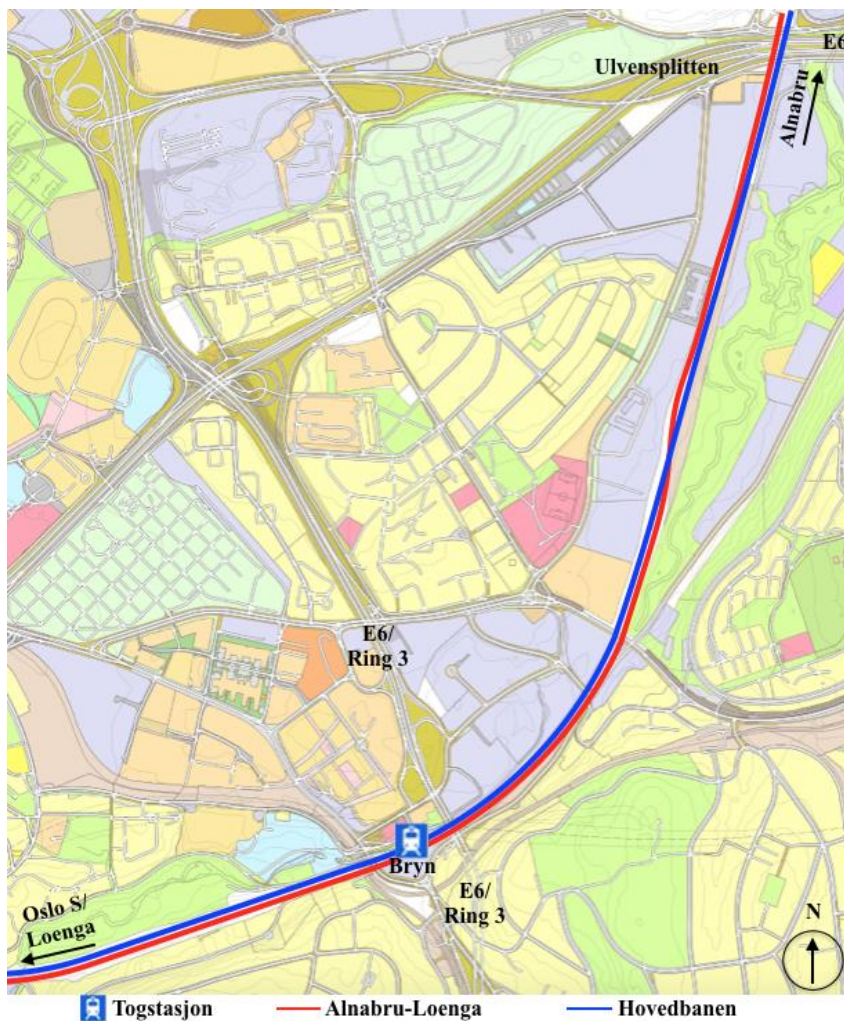
Bebyggelsen er i store trekk avgrenset av E18 i vest og E6 i øst, som er viktige innfartsveier til Oslo. Fylkesvei 152 og Østfoldbanen ligger tilnærmet parallelt fra Kolbotn stasjon til Oppedgård stasjon. Nord for Kolbotn stasjon krysser Østfoldbanen under fylkesvei 152, som er utfartsveien til E18. I nordenden av Myrvoll stasjon krysser fylkesvei 131 over jernbanen. Sydøst for Oppedgård stasjon krysser Østfoldbanen over E6 og fylkesvei 156. Ved kryssingen ligger E6 i tunnel og har fire felt. Utover fylkesveiene krysser jernbanen flere kommunale veier som går inn til boligområder.

4.3 Oslo kommune

4.3.1 Bebyggelse og friområder

Godssporet mellom Loenga skiftestasjon og Alnabruterminalen går gjennom bydelene Gamle Oslo, Østensjø og Alna. Til sammen har bydelene omtrent 151 000 innbyggere i 2016, og befolkningsframskrivninger viser at bydelene vil ha 181 000 innbyggere i 2026 (Oslo kommune, 2016b).

Bebyggelsen langs godssporet er en blanding av boliger, næring og friområde. Flere bygninger ligger mindre enn 20 meter fra spormidtd. Ved Loenga er det hovedsakelig friområde, som Middelalderparken og Gamlebyen gravlund, og noe bebyggelse. Fra Lodalen til Bryn stasjon ligger det tett bebyggelse, boliger og kontorer, nær jernbanen og et friområde tilknyttet Alnaelven vest for Bryn stasjon. Fra Bryn stasjon til Alnabruterminalen består bebyggelsen nærmest jernbanen hovedsakelig av industri, figur 26, og boligene sørøst for jernbanen ligger på en på høyde ovenfor Hovedbanen og godssporet.

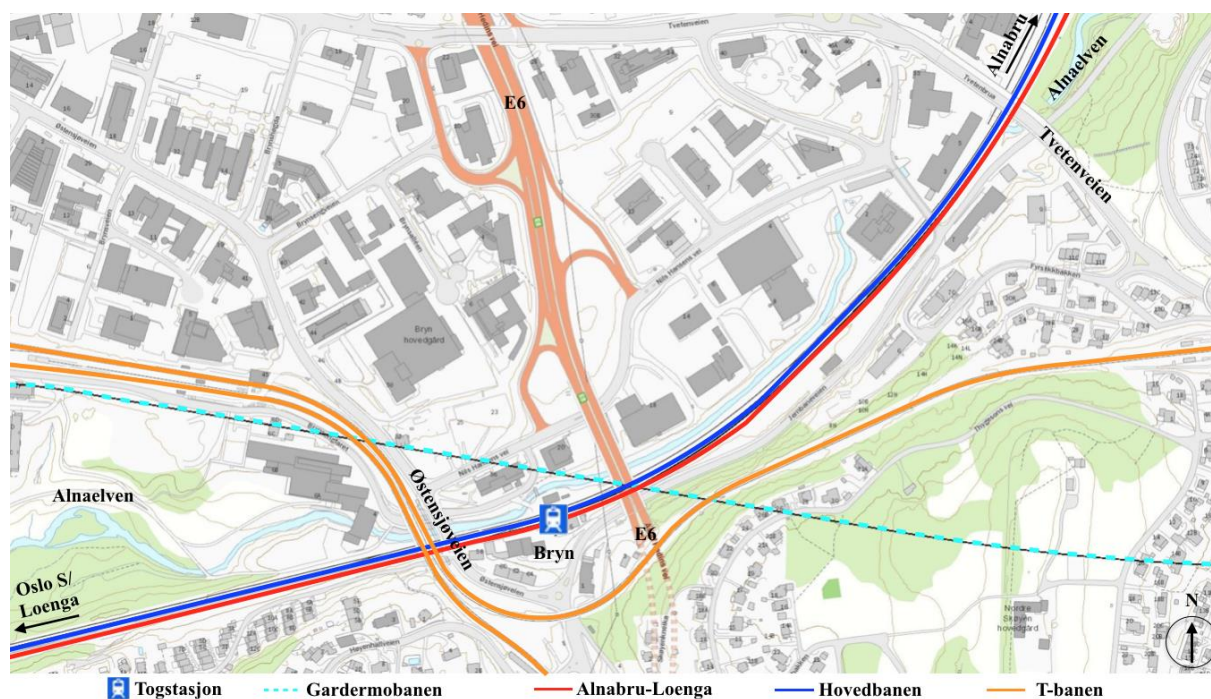


Figur 26: Reguleringsplan Bryn - Grunnkart: (Oslo kommune, 2016a)

Alnaelven ligger tilnærmet parallelt med godsporet fra Alnabruterminalen til Lodalen. Fra Alnabruterminalen til Tvetenveien ligger elven øst for Hovedbanen og godssporet Alnabru-Loenga, og krysser under jernbanen og følger jernbanen på vest/nordsiden frem til Etterstad. Ved Etterstad krysser Alnaelven igjen under jernbanen og renner ned til Lodalen, hvor den fortsetter i en tunnel i Ekebergåsen.

4.3.2 Annen infrastruktur

I Gamlebyen, ved Lodalen, krysser godssporet over Kværnerveien og over E6 med fire felt. Ved Bryn stasjon, figur 27, krysser godsporet Alnabru-Loenga under Østensjøveien, E6/Ring 3 med fire felt og T-banen med fire spor, samt over Gardermobanen. Etter Bryn stasjon krysser sporet under Tvetenveien, og ved Ulvensplitten over E6 som har fire felt.



Figur 27: Kart Bryn stasjon - Grunnkart: (Jernbaneverket, 2016a)

5 Fremtidige planer

5.1 Jernbane

5.1.1 Alnabru godsterminal

Det foregår en utredning på Alnabru godsterminal. Det er forutsatt at utredningen får konsekvenser for godssporet Alnabru – Loenga.

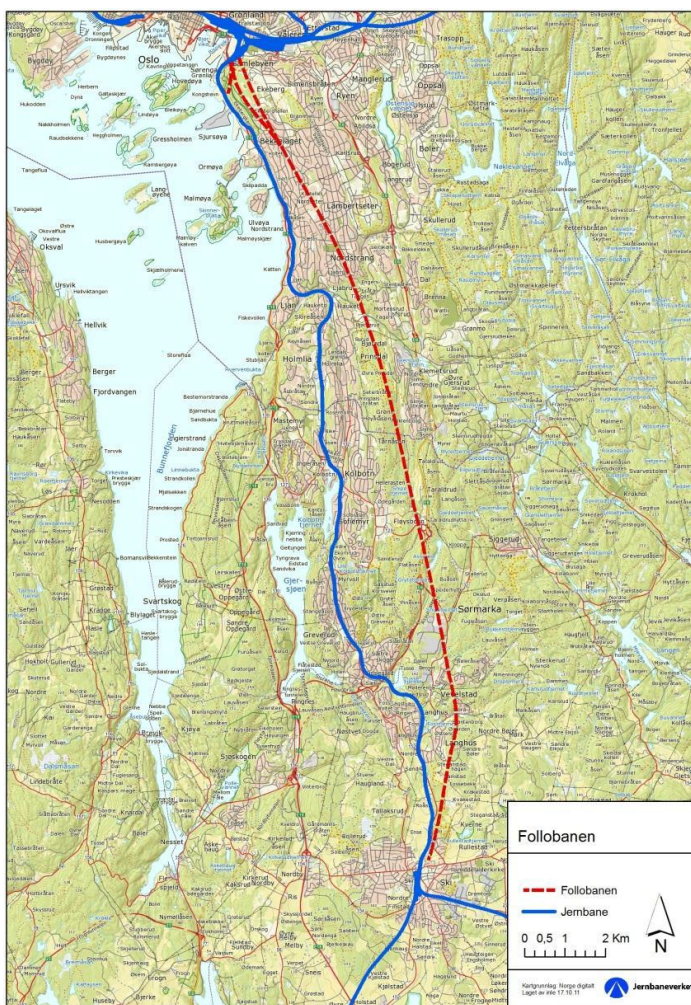
5.1.2 Follobanen

Follobanen er ny dobbeltsporet bane, mellom Oslo S og Ski stasjon, som er under bygging. Den 22 km lange banen har planlagt ferdigstillelse i 2021 (Jernbaneverket, 2014a), og vil hovedsakelig gå i tunnel. Fra Oslo S går banen i kulvert under Middelalderparken, Loenga skiftestasjon og Østfoldbanen. Banen kommer til å gå i tunnel fra Ekebergåsen til nord for Ski stasjon. Fra tunnelen skal banen gå i kulvert og en kort dagsone inn til Ski stasjon.

I sammenheng med Follobaneprojektet vil inngående Østfoldbanen bli lagt i tunnel fra Sjursøya. I Ekebergåsen kobles sporet sammen med Follobanen.

Eksisterende inngående spor på Østfoldbanen skal bestå.

Follobanen og inngående Østfoldbane kommer til å ha en maksimal stigning på 20,4 % i Ekebergåsen. Fra Ekebergåsen til Ski er stigningen 12,5 % eller mindre.



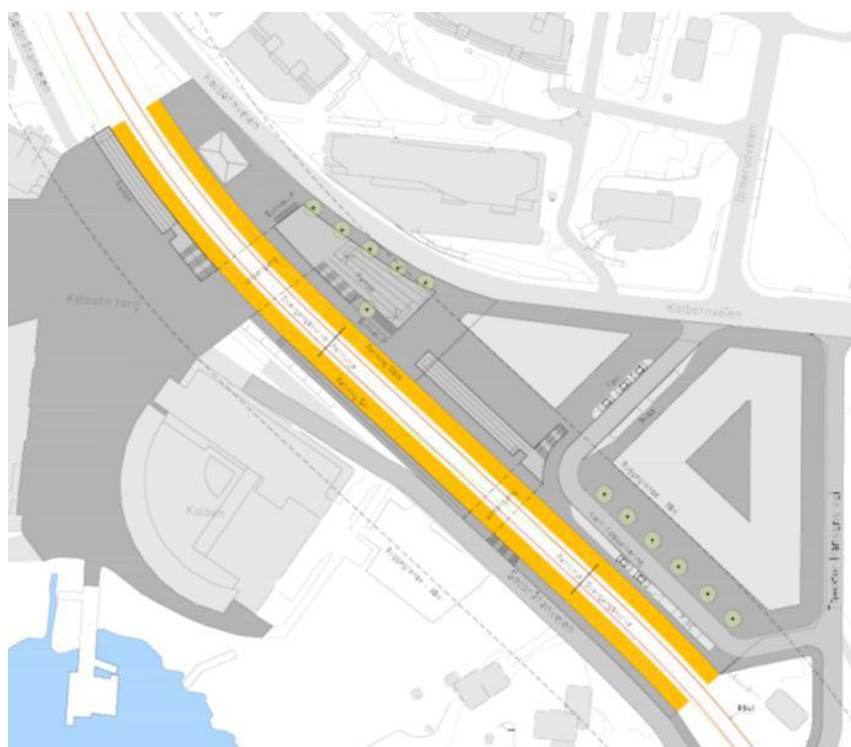
Figur 28: Trasé Follobanen (Jernbaneverket, 2013)

5.1.3 Kolbotn stasjon

2014 utførte Jernbaneverket en utredning angående ny stasjonslokalisering av Kolbotn stasjon. Jernbaneverket (2014b) vurderte fire konsepter:

- Konsept 1 – Oppgradering av dagens situasjon
- Konsept 2 – Ny stasjon sør for dagens stasjon
- Konsept 3 - Ny stasjon nord for dagens stasjon
- Konsept 4 – Ny stasjon øst for dagens situasjon

Jernbaneverket anbefalte konsept 1, se figur 29, oppgradering av dagens situasjon. Konseptet innebærer at en fjerner spor 3 på stasjon og bruker det ledige arealet til utretting av spor 1 og 2 (Jernbaneverket, 2014b). Løsningen betyr at dagens spor kun vil bli endret ved fjerning av eksisterende sporveksler til spor 3 (Jernbaneverket, 2014b). Det anbefalte konseptet muliggjør inntil 4 tog i timen per retning, men ved fjerning av spor 3 er det ikke mulig med innsatstog som vender på Kolbotn stasjon (Jernbaneverket, 2014b).



Figur 29: Konsept 1 - Kolbotn stasjon (Jernbaneverket, 2014b)

Konseptet inkluderer knutepunktutvikling av stasjonen, samt flytting av innfartsparkering til Rosenholm stasjon. Knutepunktutviklingen medfører blant annet samlokalisering av bussholdeplasser med Kolbotn stasjon (Jernbaneverket, 2014b).

5.1.4 Hovedbanen

Bryn

Rutemodell 2027 har anbefalt å bygge om sporene ved Brynsbakken for å innføre retningsdrift og dermed øke kapasiteten (Holtet, 2016).

I konseptvalgutredning for Oslo-navet er det anbefalt å etablere Bryn som et *knutepunkt øst* (KVU-staben, 2015). KVUen anbefaler Bryn som et knutepunkt tilsvarende Oslo S og Nationaltheatret stasjon med forbindelse mellom jernbane, t-bane, trikk og buss. For å knytte knutepunktet til regiontog er det anbefalt å etablere en firespors jernbanestasjon i Romeriksporten (KVU-staben, 2015). Det er anbefalt å ferdigstille knutepunktet på Bryn i 2032, blant annet for å avlaste stasjonene i Oslo sentrum og legge til rette for byutvikling i området (KVU-staben, 2015).

Breivoll stasjon

KVU for Oslo-navet anbefaler Breivoll som en mulig stasjon på Hovedbanen (KVU-staben, 2015). Breivoll ligger mellom Alnabru godsterminal og Bryn, sør for E6 og Ulvensplitten. Ved gjennomføring av tiltaket er det anbefalt å ferdigstille stasjonen mellom 2030 og 2040 (KVU-staben, 2015).

5.2 Trafikk jernbane

I arbeidet med Rutemodell 2027 er det anbefalt *timinuttersavganger fra alle lokale stasjoner mellom Asker, Lillestrøm og Ski* (Holtet, 2016). Dette medfører tett lokaltogtrafikk med 6 tog/time per retning på Hovedbanen og Østfoldbanen. Innen 2050 mener Jernbaneverket at by og forsteder, dvs. 20 km fra bysentrum, som minimum bør ha 6 avganger/time per retning.

Mot 2050 forventer Jernbaneverket (2015b) en tilnærmet dobling av godsvolumet på jernbane. Ved dobling av godsvolumet i 2050 er det antatt lengden på godstog kan være lengre enn 750 meter (Jernbaneverket, 2015b), noe som betyr av veksten ikke nødvendigvis vil bli håndtert med økt frekvens.

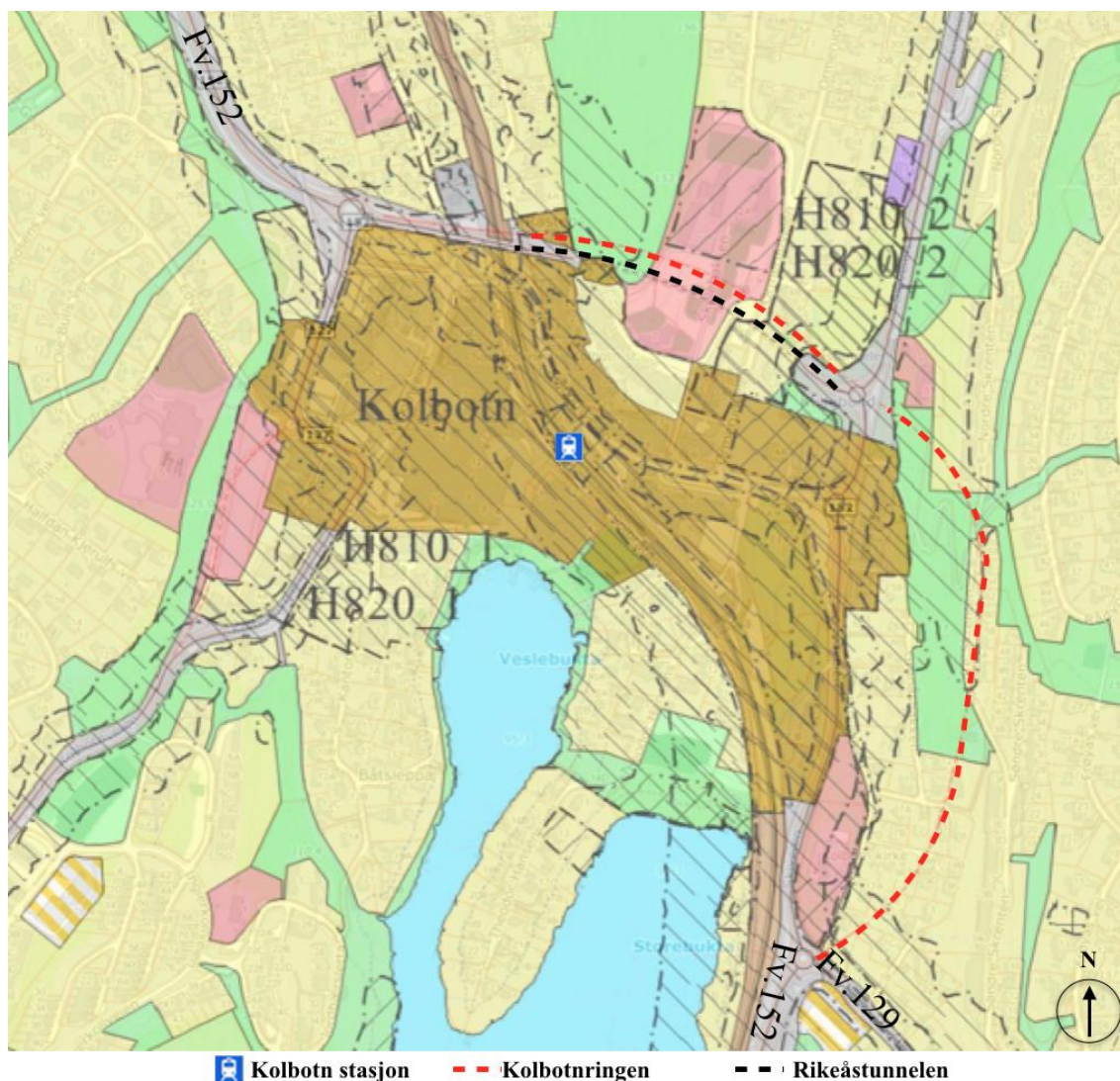
For Østfoldbanen er det lagt opp til 12 600 meter lange tog i døgnet per retning i 2019 og 18 i 2040 (Jernbaneverket, 2007). Den forventende veksten er basert på tall fra 2006.

5.3 Oppegård kommune

Oppegård kommune (2011) har fortetting av nye boliger, kontorer og servicetilbud rundt jernbanestasjonene i kommunen som en av sine hovedmål. En annen viktig målsetning for kommunen er bevaring av natur- og kulturlandskapet langs Bunnefjorden, deler av Svartskog og Sørmarka (Oppegård kommune, 2011).

5.3.1 Kolbotn

Kommunen har kommet langt med utbyggingen og fortetting vest for Kolbotn stasjon, og ønsker derfor å prioritere utbygging øst for stasjonen (Oppegård kommune, 2011). Figur 30 viser at det er satt av areal til to fortettingsområder. På deler av områdene H810_2 og H820_2 er det planlagt byggestart andre kvartal 2016. Grøntområdene i sentrum skal bevares (Oppegård kommune, 2011).

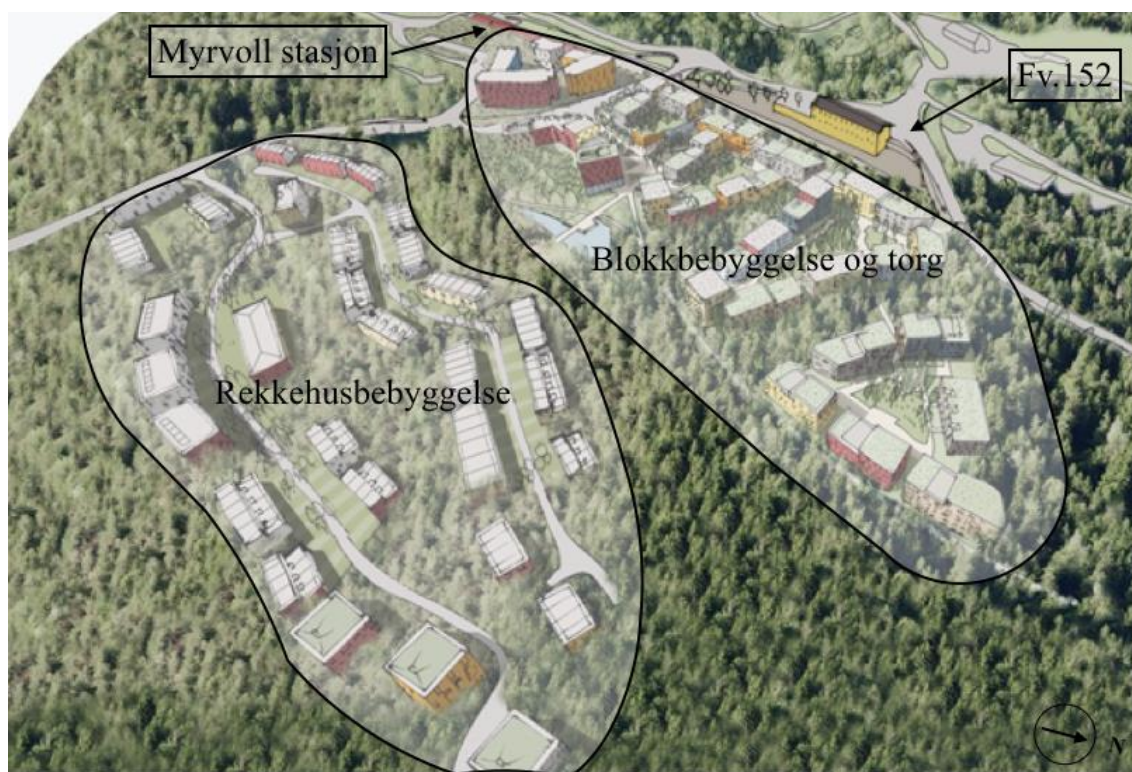


Figur 30: Kommuneplan Kolbotn (Oppegård kommune, 2016)

Oppegård kommune (2011) ønsker å fullføre Kolbotnringen, rødstiplet linje i figur 30, for å redusere trafikken i Kolbotn sentrum. Det gjenstår omlegging av fylkesvei 152 i to tunneler. Den ene tunnelen er planlagt øst for eksisterende fylkesvei 152, fra rundkjøringen hvor fylkesvei 152 møter fylkesvei 129 til rundkjøringen hvor fylkesvei 152 går inn i Rikeåstunnelen (Jernbaneverket, 2014b). Den andre tunnelen er planlagt som en utvidelse av Rikeåstunnelen med to felt (Jernbaneverket, 2014b).

5.3.2 Myrvoll

Oppegård kommune (2011) har avsatt areal nord for Myrvoll stasjon, figur 31, til et fremtidig sentrumsområde. Området ble detaljregulert i 2015 og første byggetrinn er planlagt ferdigstilt i 2018 (JM Norge AS, 2015b). Det er planlagt omtrent 500 leiligheter med tilhørende garasjekjeller, 200 rekkehus og lokalsenter (JM Norge AS, 2015a).



Figur 31: Illustrasjon Myrvoll – Grunnkart: (JM Norge AS, 2015a)

5.3.3 Oppegård

I kommuneplanen er det avsatt tre områder til fortetting øst og sydøst for Oppegård stasjon (Oppegård kommune, 2011). Før private detaljreguleringer kan bli utført skal Oppegård kommune gjennomføre en områderegulering (Oppegård kommune, 2011).

5.4 Oslo kommune

I kommuneplanen mot 2030 er Oslo kommune (2015a) sine satsinger for videre utvikling en smart, trygg og grønn by. Sentralt i den grønne satsingen er fortetting langs jernbanen og t-banen, samt bevaring og opprustning av eksisterende friområder.

5.4.1 Hovinbyen

Hovinbyen er nevnt som et potensielt utbyggingsområde i kommuneplanen til Oslo kommune. Området ligger mellom «indre by i vest, Groruddalen i øst, Trondheimsveien i nord og til og med Bryn stasjon i sør» (Oslo kommune, 2015a). For å realisere planene ønsker Oslo kommune å etablere Breivoll som et knutepunkt med jernbane- og t-banestasjon (Oslo kommune, 2015b), men dette ligger ikke inne som anbefalt tiltak i konseptvalgutredning for Oslo-navet (KVU-staben, 2015).

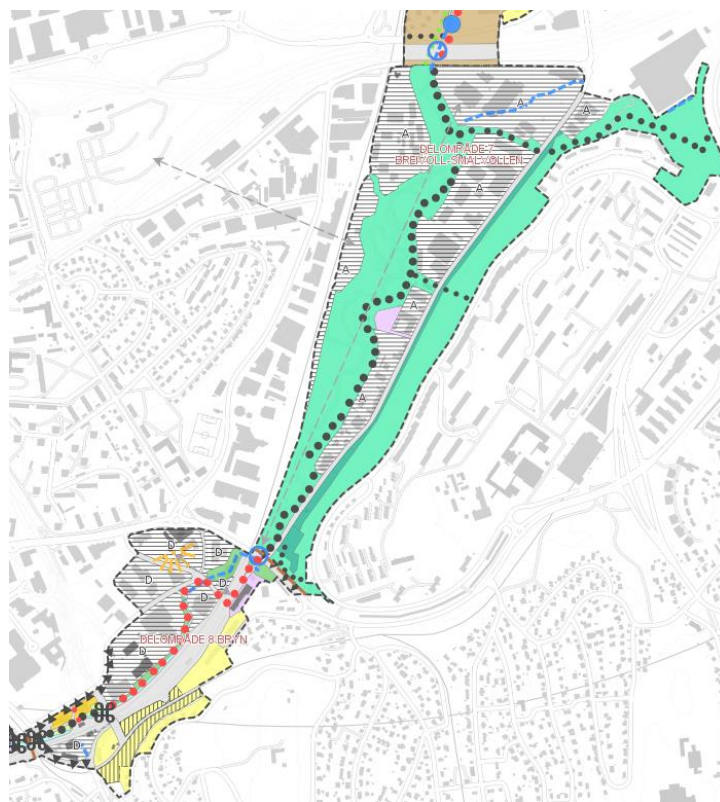
5.4.2 Alnaelven

Oslo kommune ønsker gjenåpne hele Alnaelven til en sammenhengende elv. I tilknytning til elven er det planlagt friområde, lysegrønt og grønt område i figur 32. Det er også planlagt en sammenhengende turvei, rød- og svartstiplet linje i figur 32, langs Alnaelven (Oslo kommune, 2013). Tiltakene for Alnaelven er planlagt ferdigstilt i 2020 (Oslo kommune, 2013).

Det er blant annet foreslått gjenåpning av Alnaelven, markert med blå stripete linje i

figur 32, ved Bryn stasjon og ved Ulvenspiltten/Breivoll (Oslo kommune, 2013).

Delområdene A og D er områder hvor det ikke skal settes i gang tiltak uten at «dette skjer på grunnlag av ny reguleringsplan» (Oslo kommune, 2013).



Figur 32: Utsnitt kommunedelplan Alna miljøpark (Oslo kommune, 2016a)

6 Vurderingskriterier

Dette kapittelet tar for seg vurderingskriterier som alternativene vil bli vurdert etter.

6.1 Sporgeometrisk utforming

Vertikalgeometri-stigning

I oppgaven er det tatt utgangspunkt i at godsbanen skal være dimensjonert for 750 meter lange og 1500 tonn tunge tog. Samtidig har kapittel 3 vist at det ikke er mulig å dimensjonere banen for 1500 tonn tunge tog. Derfor ble det konkludert med at banen ikke kan ha en stigning større enn 12,5 %. På bakgrunn av dette er det bestemt at et stigning større enn 12,5 % ikke er tilfredsstillende. En stigning fra og med 12,5 % til 10 % er vurdert som mindre bra med en score på 1. Dette fordi oppgaven er i en tidlig fase. Det er blant annet ikke kartlagt høyder på alle kjente fjellanlegg og det kan eksistere ukjente fjellanlegg. Derfor vil det være behov for optimalisering i en eventuell senere fase. På bakgrunn av dette er en stigning fra og med 10 % til 7,5 % vurdert som middels bra med en score på 2 poeng. En stigning på 7,5 % eller mindre er vurdert som bra, fordi det gir gode muligheter for optimalisering i en senere fase.

Tabell 14: Vurderingskriterier vertikalgeometri

Stigning (%)	$12,5 \leq s < 10$	$10 \leq s < 7,5$	$s \leq 7,5$
Vurdering	Mindre bra	Middels bra	Bra
Score	1	2	3

Horisontalgeometri - overhøyde

Ved stopp i sirkelkurver er det en fare for forflytning av lasten og avsporing ved ujevn fordeling av lasten. Dette er typisk for stor overhøyde eller overskuddsoverhøyde.

Overskuddsoverhøyden er avhengig av dimensjonerende maksimal- og minimumshastighet, som i denne oppgaven er på 140 og 80 km/t. Med bakgrunn av kapittel 3 er overskuddsoverhøyden vurdert å være tilfredsstillende. Derfor vil horisontalgeometrien bli vurdert med tanke på overhøyde. Overhøyden sier i tillegg noe om kurveradiusen, da liten kurveradius har stor overhøyde.

En overhøyde fra og med 150 mm til 125 er vurdert som mindre bra med en score på 1. Den nedre grensen er satt som følge av grenseverdi for maksimal overhøyde. Selv om intervallet er innenfor dimensjonerende parametere er det vurdert som mindre bra. Dette fordi det er viktig å ha optimaliseringsmuligheter i en eventuell senere fase.

Av samme årsak er overhøyde fra og med 125 til 100 mm er vurdert som middels, og overhøyde på 100 mm eller mindre som bra. Poengsummene vil bli gitt i henhold til tabell 15.

Tabell 15: Vurderingskriterier horisontalgeometri - overhøyde

Overhøyde (mm)	$150 \leq h < 125$	$125 \leq h < 100$	$h \leq 100$
Vurdering	Mindre bra	Middels	Bra
Score	1	2	3

Horisontalgeometri - sporveksel

Sporvekslene har hovedsakelig betydning for fremføringshastigheten, samt hastigheten for påfølgende tog. I tillegg forteller størrelsen på sporvekselen noe om tilgjengelig areal. I kapittel 3 ble normale krav for sporveksel satt til type 1:18,4 R1200 og minstekrav til 1:15 R760/1:14 R760. Med bakgrunn av dette er sporveksler 1:12 R500 vurdert som mindre bra, 1:15 R760/1:14 R760- veksler vurdert som middels og sporvekseltype 1:18,4 R1200 som bra. I henhold til tabell 16 gir en vurdering som mindre bra, middels og bra en score på henholdsvis 1, 2 og 3 poeng.

Tabell 16: Vurderingskriterier sporveksel

Sporveksel	1:12 R500	1:15 R760/1:14 R760	$\geq 1:18,4$ R1200
Vurdering	Mindre bra	Middels	Bra
Score	1	2	3

Laveste maksimal hastighet – fri linje

Hastigheten har hovedsakelig betydning frakttiden, dvs. tiden det tar før mottager kan hente varen. I dette vurderingskriteriet vil en bare se på dimensjonerende hastighet på fri linje. Dette innebærer at en ser bort i fra hastighet gjennom sporveksel i avvikende spor, noe vurderingskriteriet for sporveksel indirekte vurderer. I kapittel 3 er laveste dimensjonerende hastighet satt til 80 km/t. Derfor er en maksimal hastighet lavere enn 80 km/t ikke tilfredsstillende.

Dimensjonerende hastighet fra og med 80 til 100 km/t er vurdert å være mindre bra med en score på 1. En fremføringshastighet innenfor det nevnte intervallet er ikke direkte dårlig, men det er viktig å bygge for fremtiden. Det er tvilsomt at en vil legge om godsbanen med det første, spesielt siden mye av strekningen vil gå i tunnel.

I henhold til kapittel 3 er dimensjonerende maksimal hastighet satt til 140 km/t. Imidlertid er det ikke alltid mulig å oppnå ønsket hastighet når en skal ta hensyn til eksisterende og fremtidig situasjon. Derfor er en hastighet fra og med 100 km/t til 120 vurdert som middels. Av samme årsak er en dimensjonerende hastighet på 120 km/t i timen eller høyere vurdert som bra. Vurderingskriteriene har fått poengsum i henhold til tabell 17.

Tabell 17: Vurderingskriterier laveste maksimal hastighet – fri linje

V_{dim} (km/t)	$80 \leq V < 100$	$100 \leq V < 120$	$V \geq 120$
Vurdering	Mindre bra	Middels	Bra
Score	1	2	3

6.2 Tilpasning til lokale forhold

Antall bygninger som bør rives

Det er problematisk å sette vurderingskriterier på hvor mange bygninger som en bør rive, spesielt fordi boliger kan ha stor affeksjonsverdi. Imidlertid gir det en god indikasjon på tilpasningen til lokale forhold.

For å vurdere antall bygninger som bør rives vil det bli tatt utgangspunkt i avstand til spenningsførende anlegg (kapittel 2.3). Oppgaven er i en tidlig planfase, derfor kan det være lurt å belyse den verste situasjon og «rive» for mange bygninger. En kan eventuelt optimalisere alternativene i en senere fase for å rive færre bygninger. Med bakgrunn i de overnevnte argumentene er kravet for høye bygninger, 10 m, lagt til grunn for vurderingen.

Det er forutsatt at eksisterende bygninger som per dags dato ligger nærmere jernbanen enn i alternativene, har tilfredsstillende beskyttelse mot spenningsførende anlegg. Dette innebærer at en ikke trenger å rive bygningene.

Hvis ingen bygninger bør rives vil det bli vurdert som bra og få en score på 3. Det vil bli vurdert som middels med en score på 2 hvis 10 eller færre bygninger bør rives. Er det flere enn 10 bygninger som bør rives vil dette bli vurdert som mindre bra med en score på 1.

Det er mulig at vurderingskriteriene ligger er nærmere en ideell løsning enn virkeligheten. Imidlertid er dette en teoretisk oppgave. Samtidig er det tvilsomt at berørte parter blir veldig fornøyd hvis deres bygning må rives. En kan derfor stille spørsmålet om man kan definere jernbanetiltak som bra hvis en må rive bygninger. På en annen side har bygninger som regel liten betydning for samfunnet som helhet, det er relativt få mennesker som blir påvirket.

Tabell 18: Vurderingskriterier - antall bygninger som bør rives

Antall bygninger	>10	≤10	0
Vurdering	Mindre bra	Middels	Bra
Score	1	2	3

Konflikt med infrastruktur

Infrastruktur er her definert som annen infrastruktur enn jernbane. Hvis godsbanen kommer i konflikt med f.eks. en veg, vil det bli behov for omlegging av vegen. Ved eventuell omlegging kan det medføre kø på alternative veger. På bakgrunn av dette er konflikt vurdert som mindre bra, mulig konflikt som middels og ingen konflikt som bra. Det vil bli gitt poengsum i henhold til tabell 19.

Alle alternativene kan ha mulig konflikter siden det eksisterer ukjente fjellanlegg. I tillegg er ikke Gardermobanen høydefestet i denne oppgaven. Ukjente faktorer er derfor sett bort i fra.

Tabell 19: Vurderingskriterier - konflikt med infrastruktur

Infrastruktur	Konflikt	Mulig konflikt	Ingen konflikt
Vurdering	Mindre bra	Middels	Bra
Score	1	2	3

Omlegging av eksisterende jernbane

Omlegging av eksisterende jernbane kan innebære at en må innstille togtrafikken fra noen stasjoner. Det kan medføre alternativ transport som f.eks. buss for tog, noe som er lite ønskelig for pendlere og NSB. I tillegg risikerer en at godstrafikken forflytter seg fra bane til veg.

Hvis det må bygges en ny sporveksel på eksisterende linje er det antatt at en kun behøver å stenge jernbanen noen dager. Derfor vil dette bli vurdert som bra med en score på 3. Hvis en må legge om jernbanen på en dagsone er dette vurdert som middels med en score på 2. Må en legge om jernbane som går i tunnel, kulvert o.l., er det antatt at dette er meget tidkrevende og at jernbanen må være stengt i en lengre periode. Derfor vil dette bli vurdert som mindre bra med en score på 1. Samtidig har alle alternativer en avgreining fra Follobanen, som vil ligge i tunnel. Follobanen er sannsynligvis ferdigstilt før den eventuelle godsbanen. Imidlertid er det en fremtidig bane, og er derfor vurdert i henhold til vurderingskriterier i kapittel 6.3.

Tabell 20: Vurderingskriterier - omlegging av eksisterende jernbane

Omlegging av eksisterende jernbanenett	Stasjon/kulvert/tunnel	Dagsone	Sporveksel
Vurdering	Mindre bra	Middels	Bra
Score	1	2	3

6.3 Tilpasning til fremtidige planer

Konflikt med fremtidige planer

Fremtidige planer er her definert som andre fremtidige planer enn jernbane. Det er gjort en enkel vurdering, noe som kan være omstridt. Nasjonale tiltak er vurdert som å være viktigere enn kommunale eller private, fordi flere mennesker kan få nytte av tiltakene. På bakgrunn av dette er konflikt med nasjonale tiltak vurdert som mindre bra, konflikt med private eller kommunale tiltak vurdert som middels og ingen konflikt som bra. Det vil bli gitt score i henhold til tabell 21.

Tabell 21: Vurderingskriterier -konflikt med andre planer

	Konflikt med nasjonale tiltak	Konflikt med private eller kommunale tiltak	Ingen konflikt
Vurdering	Mindre bra	Middels	Bra
Score:	1	2	3

Muligheter for utvidelse til to spor

Godsbanen er prosjektert som en enkeltsporet linje, men det er forutsatt at det vil være behov for utvidelse på et senere tidspunkt. Det er antatt at det vil være behov for dobbeltspor fra eksisterende spor til godsbanen. Det vil si at det ikke er tilfredstillende hvis dobbeltsporet først kan begynne etter avgreiningen fra eksisterende bane. Derfor vil det bli vurdert hvor bra avgreiningene er tilrettelagt for utvidelse til dobbeltspor.

Hvis det er mulig å utvide til dobbeltspor uten omlegging i avgreiningene vil dette bli vurdert som bra. Uten omlegging omfatter her godsbanen og eksisterende baner. Det vil bli gitt score i henhold til tabell 22. Dersom alternativet bare medfører omlegging av en avgreiningene vil

det bli vurdert som middels med en score på 2. Hvis alternativet krever omlegging av begge avgreiningene vil det bli vurdert som mindre bra.

Det vil overordnet bli vurdert om det er behov for omlegging, men det vil ikke bli tatt hensyn til eventuelle konflikter.

Tabell 22: Vurderingskriterier - muligheter for utvidelse til to spor

Utvidelse til dobbeltspor	Krever omlegging av to eller flere avgreininger	Krever omlegging av en avgreiningene	Ingen omlegging nødvendig
Vurdering	Mindre bra	Middels	Bra
Score	1	2	3

6.4 Tilpasning til fremtidig trafikk

Kapasitet

Kapasitet er meget viktig for lokalisering og utforming av avgreiningene. I denne oppgaven er kun gjort en enkel analyse av skjematiske sporplaner i avgreiningene. Ved kryssende togveger er kapasiteten vurdert til å være lav med en score på 1. Det vil bli gitt samme score hvis godsbanen er tilkoblet et enkeltspor i avgreiningene. Har avgreiningen et kryssingsspor mellom hovedsporene vil kapasiteten bli vurdert som middels med en score på 2. Dette uavhengig om løsningen er planfri. Hvis avgreiningen er planfri med to spor vil kapasiteten bli vurdert som høy med score på 3.

Tabell 23: Vurderingskriterier - kapasitet

Løsning	Kryssende togveger	Kryssingsspor	Planfri kryssing
Vurdering	Lav	Middels	Høy
Score	1	2	3

6.5 Oppsummering

Vurderingskriteriene og mulige score er samlet i tabell 24 nedenfor.

Tabell 24: Oppsummering vurderingskriterier

Vurderingskriterier	Mindre bra (Score=1)	Middels (Score =2)	Bra (Score=3)
Største stigning (%)	$12,5 \leq s < 10$	$10 \leq s < 7,5$	$s \leq 7,5$
Største overhøyde (mm)	$150 \leq h < 125$	$125 \leq h < 100$	$h \leq 100$
Minste sporveksel	1:12 R500	1:15 R760/1:14 R760	$\geq 1:18,4$ R1200
Laveste maksimal hastighet (km/t)	$80 \leq V < 100$	$100 \leq V < 120$	$V \geq 120$
Antall bygninger som bør rives	>10	≤ 10	0
Konflikt med eksisterende infrastruktur	Konflikt	Mulig konflikt	Ingen konflikt
Omlegging av eksisterende jernbanenett	Stasjon/kulvert/tunnel	Dagsone	Sporveksel
Konflikt med fremtidige planer	Konflikt med nasjonale tiltak	Konflikt med private eller kommunale tiltak	Ingen konflikt
Muligheter for utvidelse til dobbeltspor	Krever omlegging av to eller flere avgreininger	Krever omlegging av en avgreiningene	Ingen omlegging nødvendig
Kapasitet	Kryssende togveger	Kryssingsspor, med eller uten planfri kryssing	Planfri kryssing med to spor

7 Alternativer

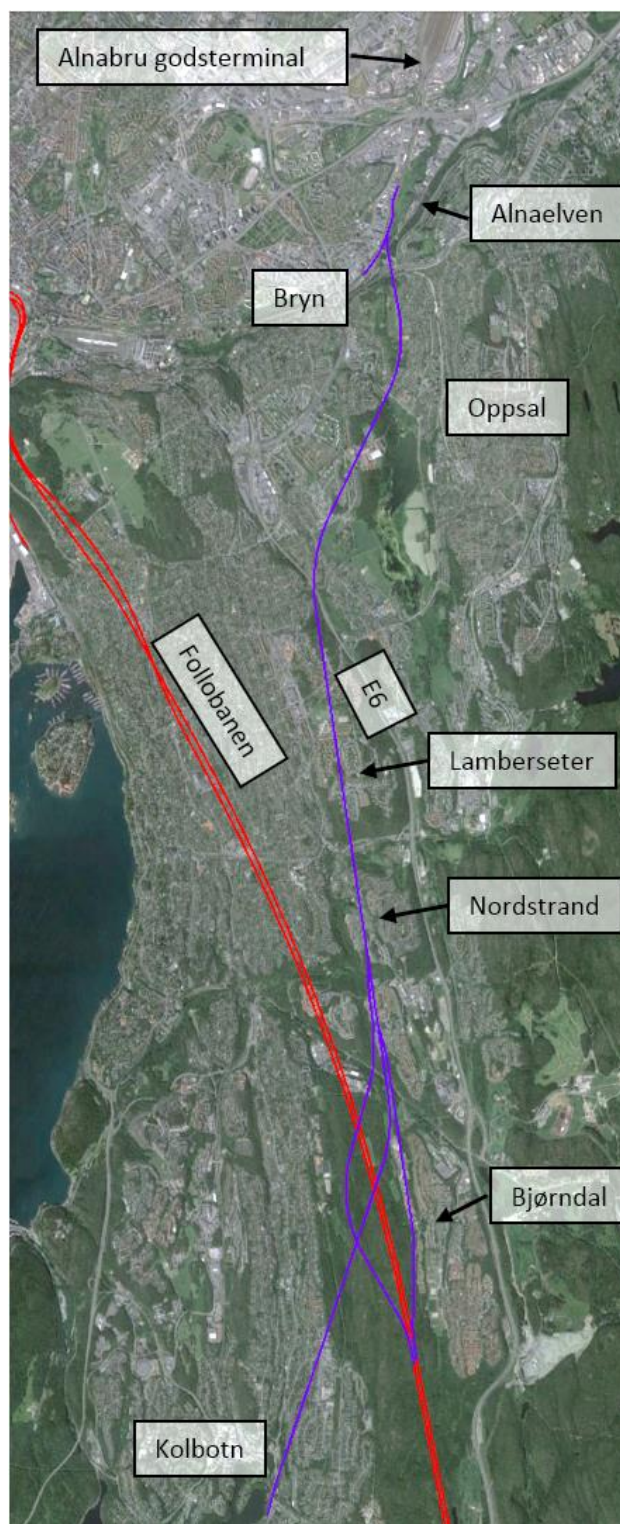
I dette kapittelet presenteres alternativene som er vurdert som gjennomførbare.

7.1 Alternativ 1A

Alternativet er basert på alternativ 1C for KVVU godsforbindelse Alnabru (Jernbaneverket, 2013). Det greiner av fra godssporet Alnabru-Loenga nord for Bryn stasjon og kobles til Østfoldbanen sør for Kolbotn stasjon. Alternativet er enkeltsporet og 12,6 km langt, hvor 12 km går i tunnel. På tunnelstrekningen krysser godsbanen under Follobanen vest for Bjørndal.

Den maksimale hastigheten er 140 km/t, men er begrenset av hastigheten i avvikende spor på sporvekslene. Det er benyttet sporveksel 1:12 R500 ved avgreiningen fra godssporet Alnabru-Loenga og 1:14 R760 fra Østfoldbanen, noe som begrenser hastigheten til henholdsvis 60 og 80 km/t. Utenom sporvekslene er den minste kurveradiusen 1250 meter med en overhøyde på 51 mm.

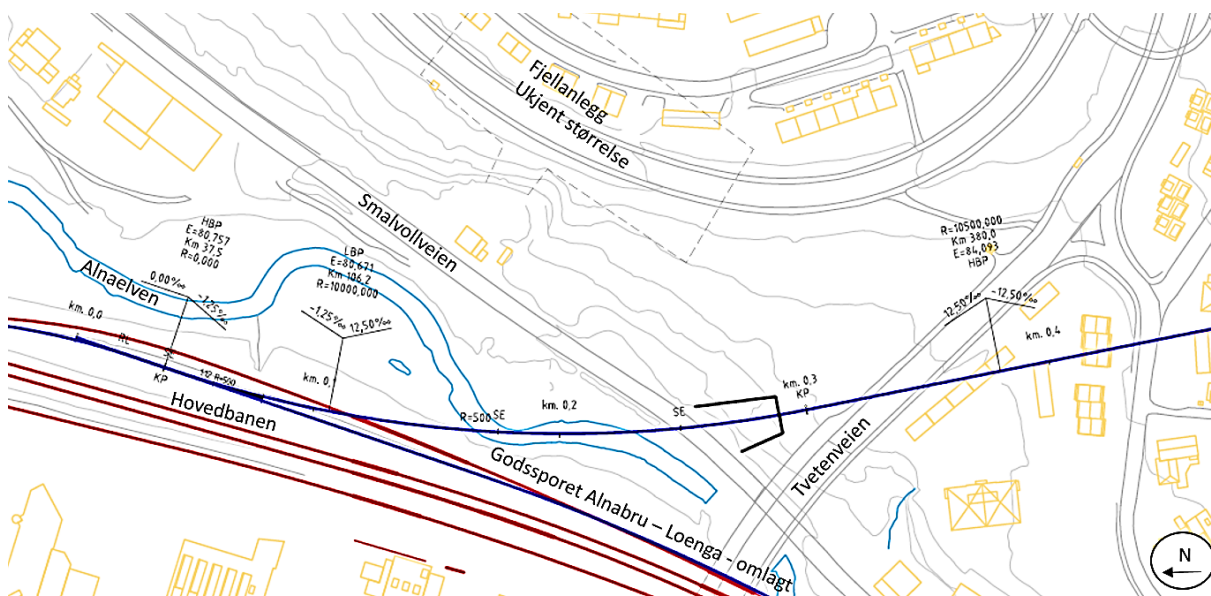
Godsbanen stiger med 12,5 % fra avgreiningen fra godssporet Alnabru-Loenga og over Alnæleven. Fra Bryn faller sporet med 12,5 % i omtrent 0,5 km. I det samme området, mellom Bryn og Oppsal, krysser godsbanen Gardermobanen i ukjent høyde. Rett etter at banen krysser E6, flater den ut i 4 km frem til nordvest for Bjørndal. I det flate partiet er lagt opp til to avgreininger til Follobanen. Fra Bjørndal stiger sporet med 12,5 % frem til tilkoblingen sør for Kolbotn.



Figur 33: Oversiktskart alternativ 1A

Avgreining godssporet Alnabru – Loenga

Godsbanen greiner av fra godssporet Alnabru – Loenga etter kulverten under Hovedbanen. I avgreiningen er det benyttet en 1:12 R500 sporveksel. For å få plass til sporvekselen er horisontalgeometrien til godssporet Alnabru-Loenga lagt om. Godssporet er lagt om fra kulverten under Hovedbanen og et par hundre meter forbi Tvetenveien.



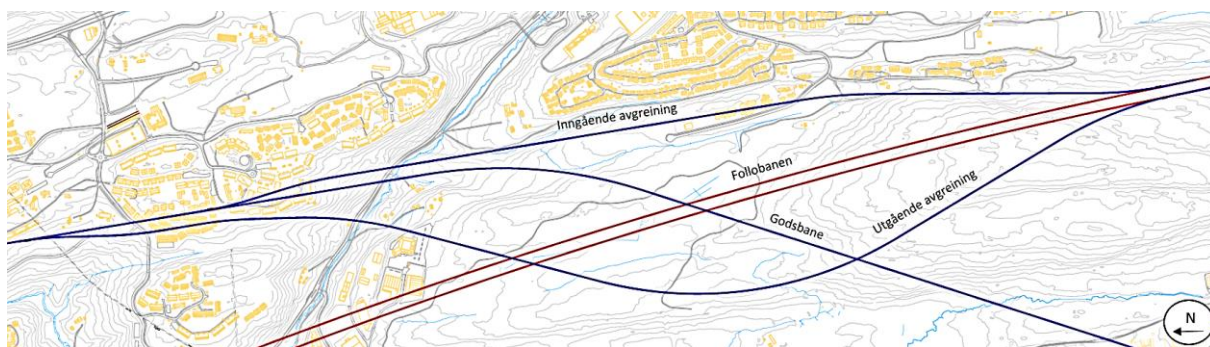
Figur 34: Kartutsnitt alternativ 1A - avgreining godssporet Alnabru – Loenga

Godsbanen krysser over Alnaelven i en bru med stigning på 12,5 % og en vertikal sirkelkurve på 10 000 meter. Stigningen gjør at sporet ligger 2,3 til 4,1 meter over Alnaelven. Godsbanen krysser 3 meter over Smalvollveien. En er derfor avhengig av at det er mulig å senke veien.

Tunnelpåhugget ligger mellom Tvetenveien, Tveten bru og ukjent tunnelanlegg. For å unngå konflikt med brukonstruksjonen til Tvetenveien er sirkelkurven på 500 m trukket forbi sporvekselen. Ved tunnelpåhugget ligger sporet 8 meter under eksisterende terreng og krysser i underkant av 15 meter under Tvetenveien.

Avgreining til Follobanen

Avgreiningen til Follobanen ligger vest for Bjørndal i et flatt parti på godsbanen. Figur 35 viser at det er planlagt to avgreininger, en for hver trafikkdiring. Dimensjonerende hastighet er 140 km/t, men begrenses av hastighetene i sporvekslenes avvikende spor. Det er benyttet sporveksel 1:18,4 R=1200, noe som gir en dimensjonerende hastighet på 100 km/t i avvik. Sannsynligvis er det plass til en 1:26,1 R=2400 sporveksel. Dette ville gitt en hastighet på 140 km/t i avvikende spor. Utenom sporvekslene er minste kurveradius 1250 meter med en overhøyde på 51 mm. Overgangskurvene er 57 meter lange.



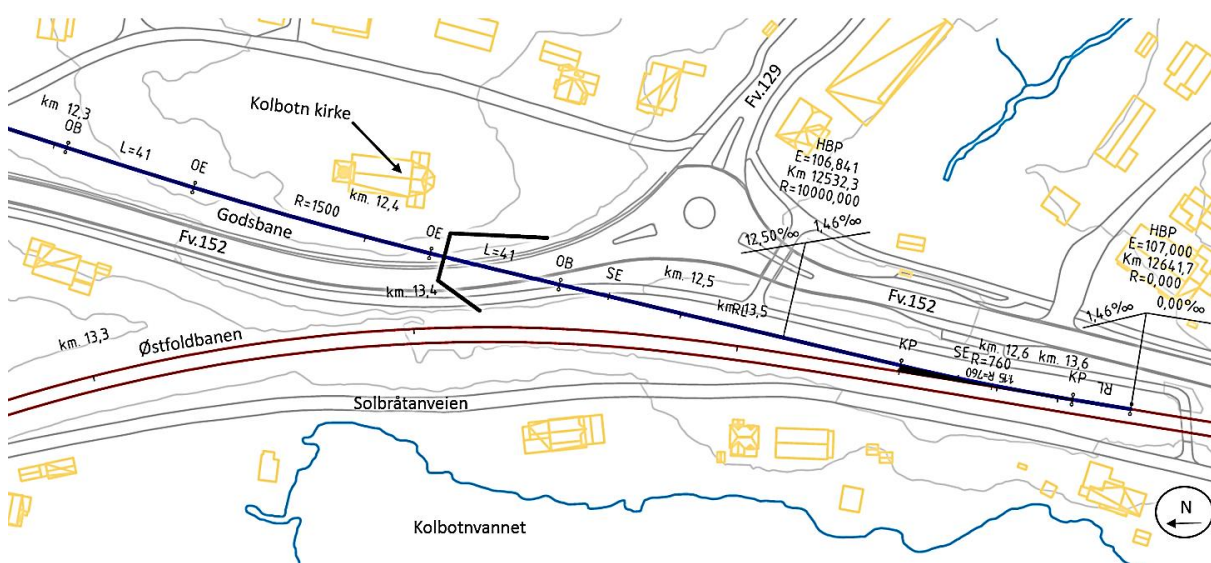
Figur 35: Kartutsnitt alternativ 1A - avgreining Follobanen

Utgående spor krysser under Follobanen i et fall på 12,5 ‰ og over godsbanen med et fall på 4 ‰. På grunn av eventuell utvidelse av godsbanen til to spor går utgående spor over godsbanen. Minste vertikalavstand mellom utgående spor, Follobanen og godsbanen er 20 meter. Inngående spor går tilnærmet parallelt med inngående Follobane og faller med 8 ‰ mot Follobanen.

Avgreining Østfoldbanen

Avgreiningen til Østfoldbanen er plassert sør for Kolbotn stasjon. Godsbanen stiger med 12,5 ‰ mot Østfoldbanen. Det er benyttet en 1:14 R760 sporveksel, som er lagt på en eksisterende rettstrekning. Det er lagt opp til et spor i avgreiningen, da det ikke er mulig å greine av fra utgående spor med en planskilt løsning. Østfoldbanen faller med omtrent 10 ‰ mot Kolbotn, som krever en lang strekning for at godsbanen skal kunne gå under Østfoldbanen når den faller 12,5 ‰ mot Kolbotn kirke.

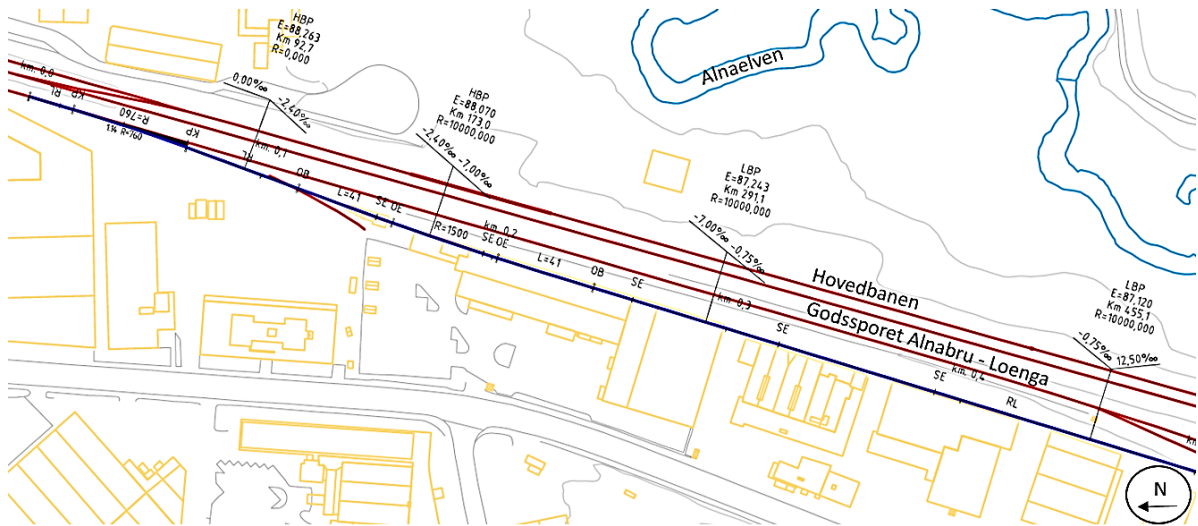
Tunnelpåhugget ligger under fylkesvei 152, men sporet ligger bare 6 – 8 meter under veien. Dette betyr at en må legge om fylkesvei 152 og 129 med tilhørende rundkjøring. Ved Kolbotn kirke ligger godsbanen 8 – 15 meter under terrenget.



Figur 36: Kartutsnitt alternativ 1A - avgreining Kolbotn

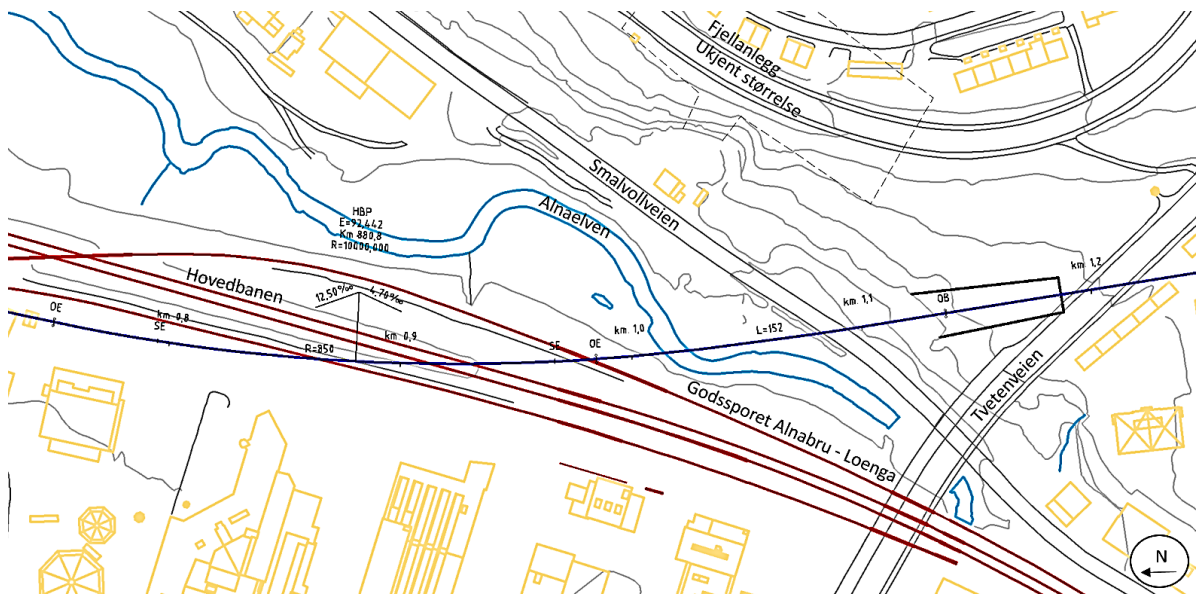
7.2 Alternativ 1B

Alternativet er tilsvarende som alternativ 1B, men ved avgreiningen på Bryn krysser godsbanen Hovedbanen og Alnaelven i en bru. Alternativet er 13,4 km langt, derav 12 km i tunnel. Godsbanen greiner av fra godssporet Alnabru – Loenga sør for E6 - Ulvensplitten. Dimensjonerende hastighet utenom sporveksel er 140 km/t, og minste kurveradius er 850 m med overhøyde på 137 mm. De tilhørende overgangskurvene er 152 m lange. Det er benyttet 1:14 R760 sporveksel, noe som innebærer en hastighet på 80 km/t i avvikende spor.



Figur 37: Kartutsnitt alternativ 1B - avgreining godssporet Alnabru – Loenga

Sporet følger terrenget fra sporvekselen til bruene over Hovedbanen og Alnaelven. Godsbanen krysser 10 meter over Hovedbanen med en stigning på 12,5 %. Over Alnaelven faller godsbanen med 4,7 %, og avstanden til elven er omtrent 13,5 meter. Vertikalavstanden til Smalvollveien er på det minste 11,3 meter. Godsbanen ligger 8 meter under Tvetenveien på det minste.



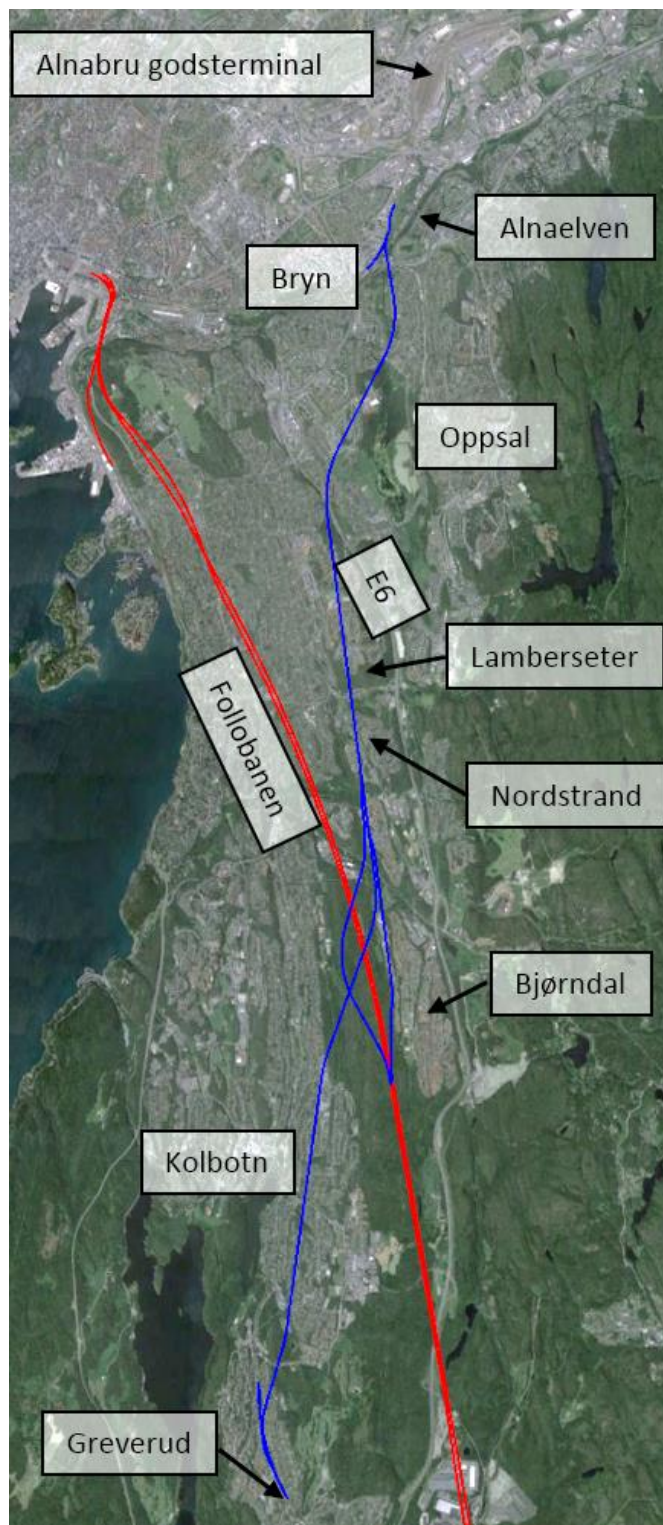
Figur 38: Kartutsnitt alternativ 1B - kryssing av Hovedbanen og Alnaelven

7.3 Alternativ 2A

Alternativ 2A går mellom Bryn og Greverud. Avgreiningen fra godssporet Alnabru – Loenga er tilsvarende som i alternativ 1A. Godsbanen kobler seg til Østfoldbanen nord for Greverud stasjon. Alternativet har et spor og er 16 km langt. 15,3 km av strekningen går i tunnel. På tunnelstrekningen krysser godsbanen under Follobanen vest for Bjørndal.

Den maksimale hastigheten er 140 km/t, men er begrenset av hastigheten i avvikende spor på sporvekslene. Det er benyttet sporveksel 1:12 R500 ved avgreiningen fra godssporet Alnabru-Loenga og 1:14 R760 fra Østfoldbanen, noe som begrenser hastigheten til henholdsvis 60 og 80 km/t. Utenom sporvekslene er den minste kurveradiusen 810 meter med en overhøyde på 150 mm.

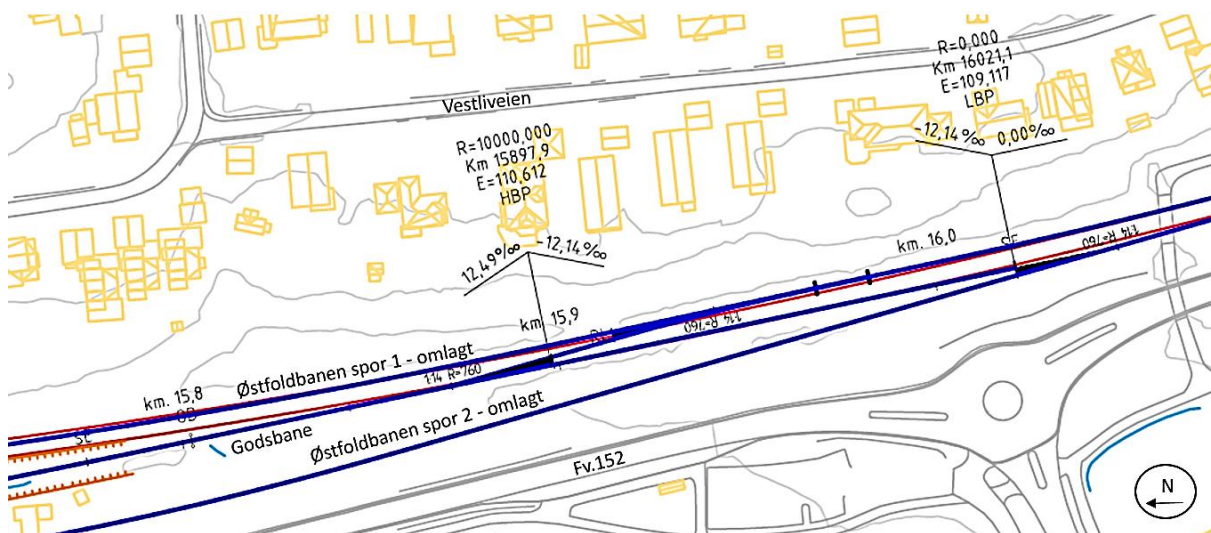
Godsbanen stiger med 12,5 ‰ fra avgreiningen fra godsporet Alnabru-Loenga og over Alnaleven. Fra Bryn faller sporet med 12,5 ‰ i omtrent 0,5 km. I det samme området, mellom Bryn og Oppsal, krysser godsbanen Gardermobanen i ukjent høyde. Rett etter at banen krysser E6, flater den ut i 8,1 km frem til øst for Kolbotn. I det flate partiet er lagt opp til to tilkoblinger til Follobanen. Fra Kolbotn stiger sporet med 12,5 ‰ frem til tilkoblingen nord for Greverud stasjon.



Figur 39: Oversiktskart alternativ 2A

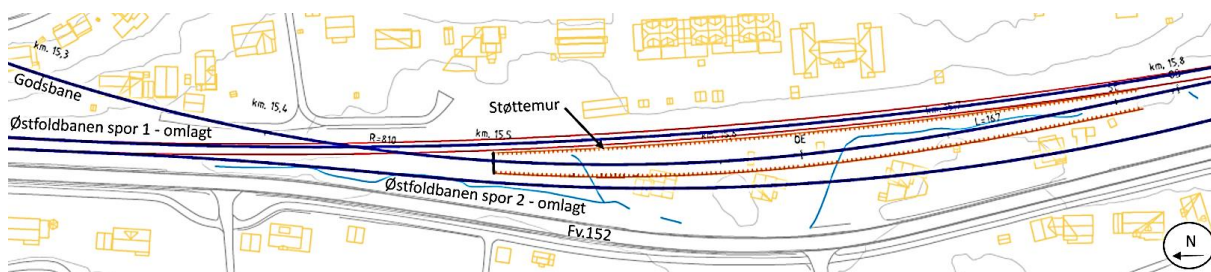
Avgreining Greverud

Avgreiningen til Østfoldbanen er plassert nord for Greverud stasjon. Figur 40 viser at godsbanen er lagt mellom spor 1 og 2 på Østfoldbanen, og går under spor 1 i en planskilt løsning. Dimensjonerende hastighet på fri linje er 140 km/t, men dette er begrenset av hastighet i avvik i sporveksel. Mellom Østfoldbanens spor 1 og godsbanen er en sporsløyfe med to 1:14 R760 sporvekslere. Til spor 2 er det benyttet en 1:14 R760 sporveksel.



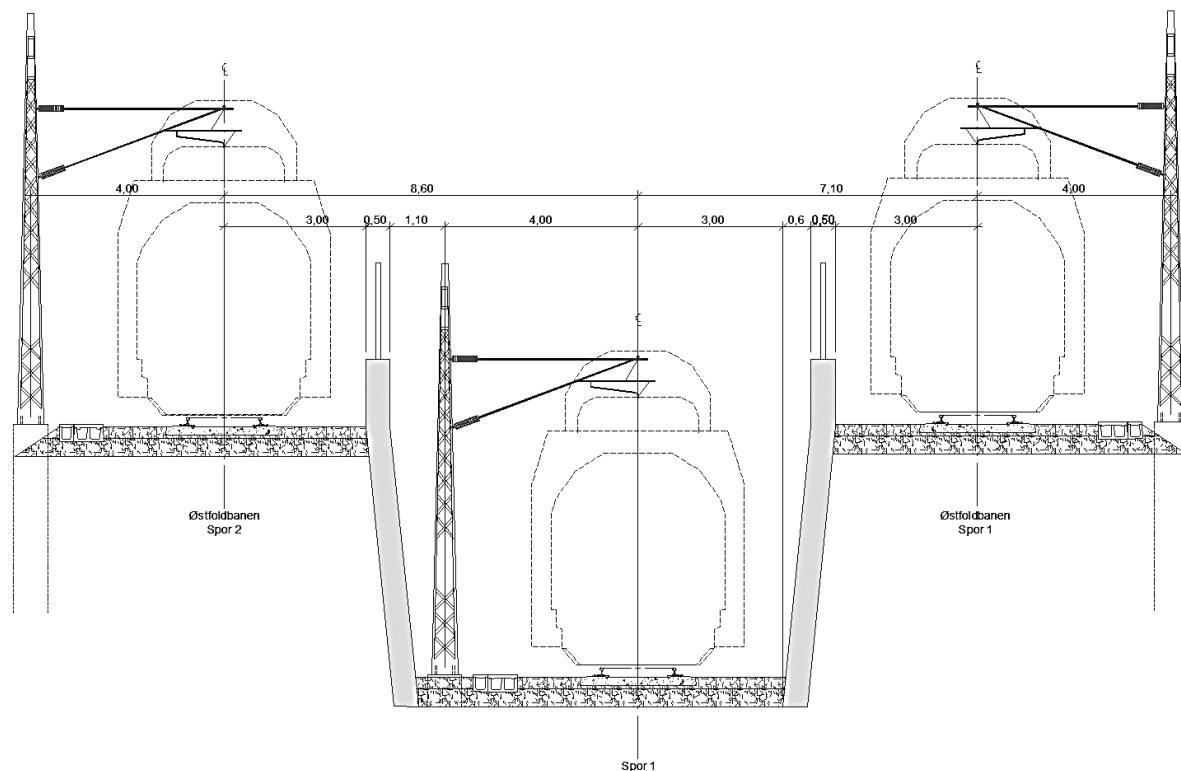
Figur 40: Kartutsnitt alternativ 2A - avgreining Greverud

For å få plass til den planskilte løsningen og sporveksler, er horisontal- og vertikalgeometrien til Østfoldbanen lagt om. Østfoldbanen er lagt om fra Greverud stasjon og til sør for Myrvoll stasjon. Omleggingen har ikke konsekvenser for Greverud stasjon. For at omleggingen av Østfoldbanen skal være kortest mulig er det benyttet en kurveradius på 810 meter på godsbanen ved den planskilte løsningen. Sirkelkurven har en overhøyde på 150 mm og de tilhørende overgangskurvene er 167 m lange.

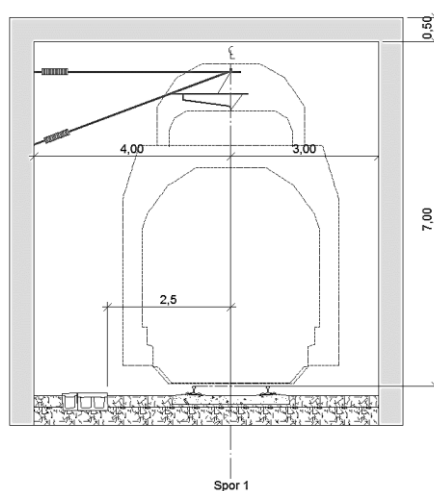


Figur 41: Kartutsnitt alternativ 2A - planskilt løsning Østfoldbanen

Figur 41 og 42 viser hvordan den planskilte løsningen er planlagt gjennomført. Godsbanen faller med 12,5 ‰ etter sporvekslene og Østfoldbanen følger stigende terreng opp mot Myrvoll stasjon. På figur 42 kan en se at det er planlagt to støttemurer mellom godsbanen og Østfoldbanen. Av hensyn til sikkerhet mot spenningsførende anlegg er det planlagt gjerder på toppen av støttemurene. Godsbanen krysser spor 1 til Østfoldbanen i en kulvert. Figur 43 viser planlagt kulvertprofil. Avstanden til terreng fra spormidtd ved kryssing av Østfoldbanen er 9,5 meter.



Figur 42: Alternativ 2A - Normalprofil avgreining Greverud



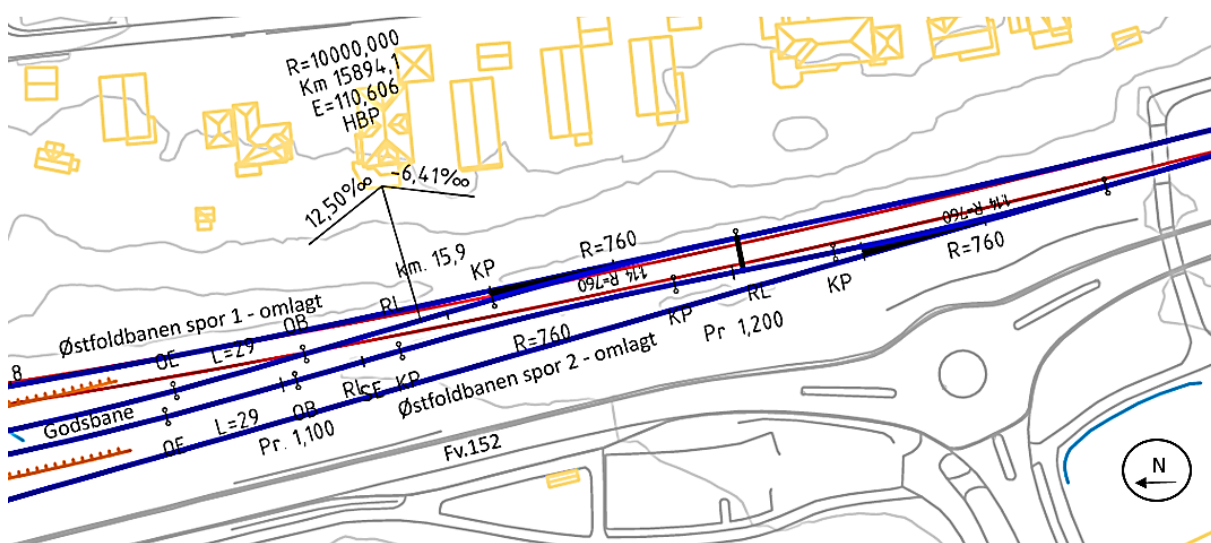
Figur 43: Alternativ 2A - Normalprofil kulvert

7.4 Alternativ 2B

Alternativet er tilsvarende som alternativ 2A, men har samme løsning som alternativ 1B på avgreiningen fra godssporet Alnabru – Loenga.

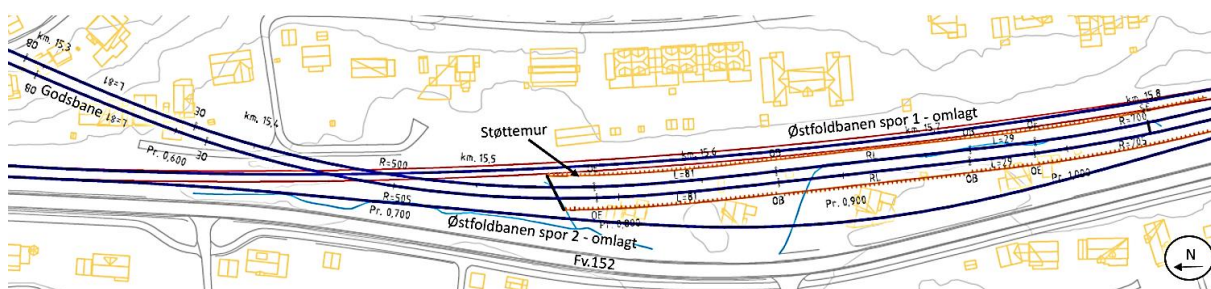
7.5 Alternativ 3A

Alternativ 3A er tilnærmet identisk med alternativ 2A, men med en annen løsning på horisontalgeometrien for avgreining fra Greverud. Figur 44 viser at det er planlagt to spor i avgreiningen. Dimensjonerende hastighet på avgreiningen er 100 km/t, men hastigheten er begrenset av sporvekslene. Det er benyttet sporveksel 1:14 R760 sporveksel, som gir en maksimal hastighet på 80 km/t i avvik.



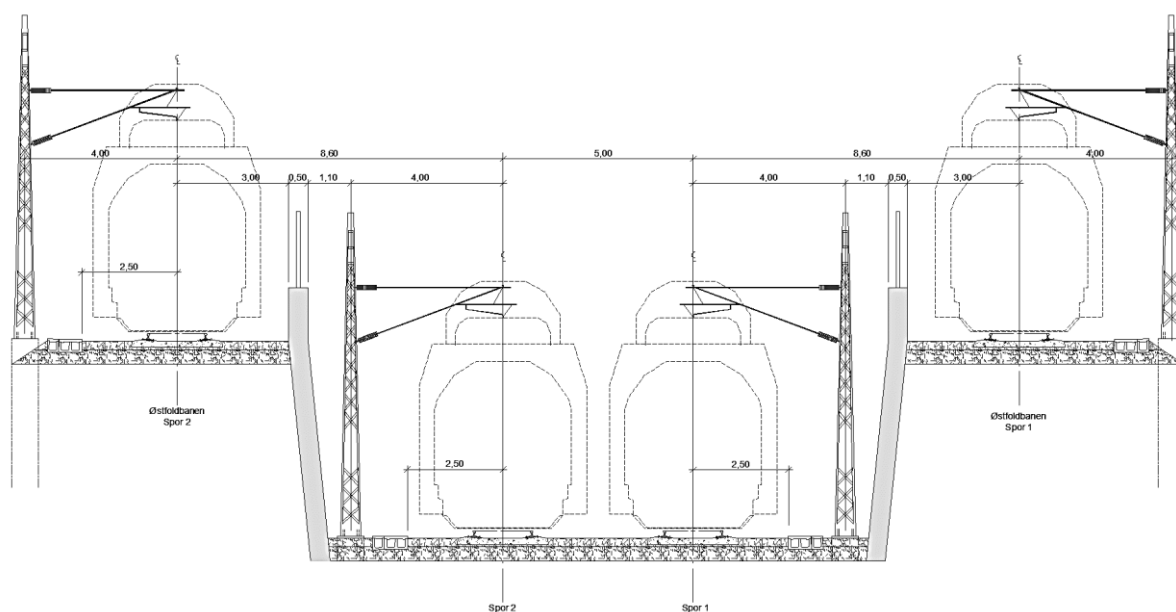
Figur 44: Kartutsnitt alternativ 3A –avgreining Greverud

Minste kurveradius som er benyttet på godsbanen er 500 og 505 m. I kurvene er det benyttet en overhøyde på 101 og 99 mm, og tilhørende overgangskurver med lengde på 81 m. De små kurveradiusene er benyttet for at den omlagte Østfoldbanen ikke skal komme i konflikt med fylkesvei 152. Dimensjonerende hastighet i avgreiningen er 100 km/t.



Figur 45: Kartutsnitt alternativ 3A - planskilt løsning

Figur 45 og 46 viser hvordan den planskilte løsningen er planlagt. Godsbanen faller med 12,5 % etter sporvekslene, og Østfoldbanen følger terrenget som stiger opp mot Myrvoll stasjon. Mellom godsbanen og Østfoldbanen er det planlagt to støttemurer med gjerder på toppen av hensyn til sikkerhet mot spenningsførende anlegg. Godsbanen krysser spor 1 til Østfoldbanen i en kulvert. Minste avstanden til terreng fra spormidtd ved kryssing av Østfoldbanen er 9,0 meter.



Figur 46: Alternativ 3A – Normalprofil avgreining Greverud

7.6 Alternativ 3B

Alternativet går mellom Alnabru og Greverud, og løsningene er tilnærmet identisk med alternativ 3A. Men på avgreiningen godssporet Alnabru – Loenga har alternativet samme løsning som alternativ 1B.

8 Vurdering

I dette kapittelet er alternativene vurdert med bruk av vurderingskriteriene fra kapittel 6.

8.1 Alternativ 1A

Sporgeometri

Alternativets største stigning er på 12,5 %, fra avgreiningene og inn i tunnelstrekningen. En har prøvd å unngå konflikt med eksisterende infrastruktur ved stige/falle så fort som mulig. Sporvekseltype 1:12 R500 er den minste sporvekselen som er benyttet, og er lokalisert på avgreiningen fra Alnabru. Det er trolig mulig å få plass til en større sporveksel, men det krever at en legger om et lengre parti av godssporet Alnabru – Loenga. På fri linje er laveste maksimal hastighet 140 km/t og største overhøyde 51 mm. Ut i fra vurderingskriteriene er det gjort vurderinger og gitt score i henhold til tabell 25.

Antall bygninger som bør rives

En trenger ikke å rive noen hus for å realisere alternativet. På bakgrunn av dette er det vurdert som bra med en score på 3 poeng.

Konflikt med eksisterende infrastruktur

Godsbanen kommer i konflikt med Smalvollveien og fylkesvei 152. Vegene må legges om hvis alternativet skal realiseres. Oppegård kommune har imidlertid et ønske om å legge om fylkesvei 152. Dette vurderingskriteriet gjelder eksisterende situasjon, og derfor er planene til Oppegård kommune sett bort i fra. Alternativet er derfor vurdert til å ha konflikt med eksisterende situasjon og gitt en score på 1.

Omlegging av eksisterende jernbane

For å få plass til en enkel sporveksel på godssporet Alnabru – Loenga må sporet legges om. Omleggingen er bare noen hundre meter og i en dagsone, dvs. at det ikke involverer tunnel, kulvert e.l. I henhold til vurderingskriteriene er løsningen vurdert som middels med en score på 2 poeng.

Konflikt med fremtidige planer

Avgreiningen fra godssporet Alnabru – Loenga krysser 2,3 – 4,1 m over Alnaelven, hvor Oslo kommune ønsker å åpne elven og etablere en turvei. Avstanden til godsbanen kan være problematisk for realisering av planene til Oslo kommune. I tillegg kan alternativet komme i konflikt med Kolbotnringen. Tiltakene er på kommunalt nivå, og derfor er det gitt en score på 2.

Muligheter for utvidelse til dobbeltspor

Avgreiningen fra Follobanen er planlagt for en eventuell utvidelse til dobbeltspor. Imidlertid vil en utvidelse medføre omlegging av avgreining fra Alnabru og Kolbotn. Ingen av disse avgreiningene er tilrettelagt for dobbeltspor.

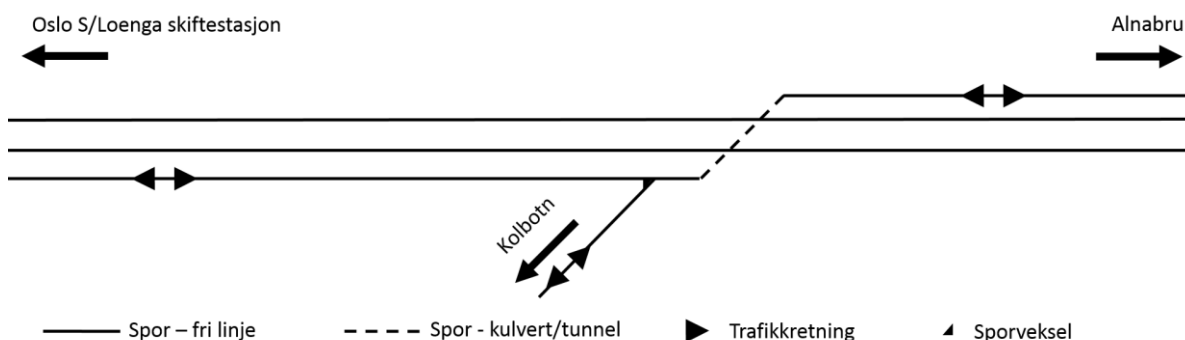
Godssporet Alnabru – Loenga er planlagt omlagt for å få plass til en enkel sporveksel. Hvis godsbanen skal greine av fra Alnabru – Loenga som dobbeltspor, må en trolig legge om godssporet for å få plass til en ekstra sporveksel. En annen løsning kan være at godssporet Alnabru – Loenga utvides til dobbeltspor fra tilkoblingen til godsbanen og frem til Alnabru godsterminal. Det vil trolig innebære konflikt med Hovinbyen. Uavhengig av løsning vil en utvidelse av godsbanen medføre ytterligere begrensninger for en turvei og gjenåpning av Alnaelven.

En avgreining med to spor fra Kolbotn er vanskelig å få til, fordi Østfoldbanen faller med rundt 10 ‰ mot Kolbotn og godsbanen faller med 12,5 ‰ mot Oslo. En planskilt løsning, hvor godsbanen går under Østfoldbanen, krever en lang strekning for å oppnå tilfredsstillende vertikalavstand. Lengden på en planskilt løsning kan reduseres ved at det ekstra godsbanespor krysser over Østfoldbanen i en bru. Dette kan medføre at det ekstra sporet vil ligge høyere og nærmere Kolbotn sentrum enn det planlagt sporet. Noe som kan medføre konflikt med bebyggelsen i Kolbotn sentrum. En annen løsning kan være å flytte Kolbotn stasjon for å få til en avgreining. Det kan være mulig å kombinere dette med noen av konseptene til Kolbotn stasjon.

Ettersom en må legge om to avgreininger for å utvide til dobbeltspor er løsningen vurdert som mindre bra. I henhold til vurderingskriteriene er det gitt en score på 1 poeng.

Kapasitet

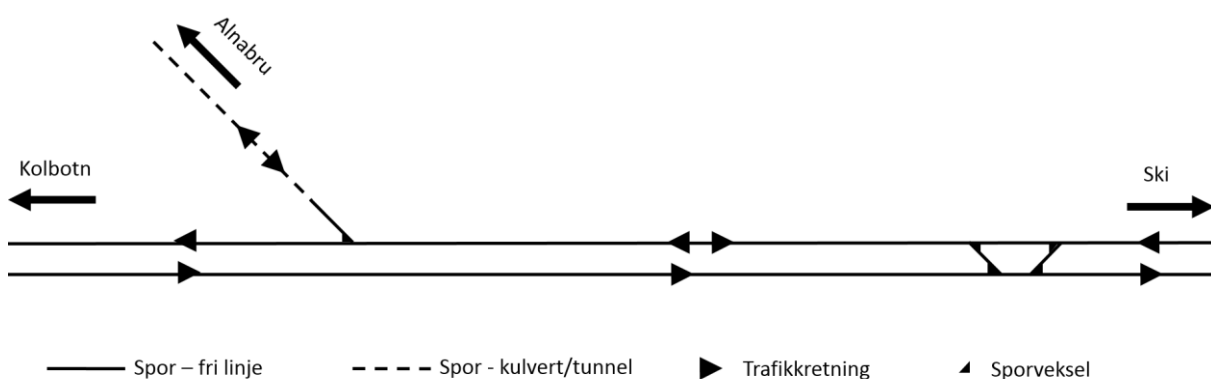
Ut i fra figur 47 kan en se at avgreiningen fra godsporet Alnabru – Loenga har kryssende togveger. Godssporet Alnabru – Loenga er i tillegg enkeltsporet, noe som reduserer kapasiteten ytterligere. Løsningen er derfor vurdert som mindre bra og gitt en score på 1.



Figur 47: Skjematisk sporplan alt.1A - avgreining Alnabru

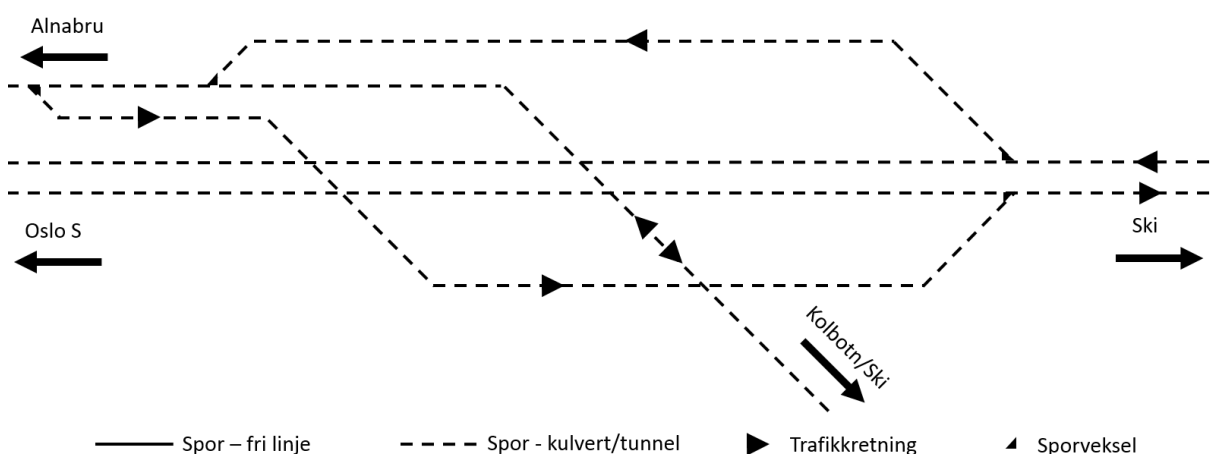
Figur 48 viser løsningen på avgreiningen fra Kolbotn som en skjematisk sporplan. Ut i fra figuren kan en se at løsningen har kryssende togveger. Godstogene fra Alnabru får ikke skiftet til høyre hovedspor før Solbråtan stasjon, hvor det er en eksisterende sporsløyfe.

For Østfoldbanen er det spesielt kritisk med kryssende togveger, fordi banen har dobbeltspor med retningsdrift og tett lokaltogtrafikk. Avgreiningen er derfor vurdert til å ha en lav kapasitet og gitt en score på 1 poeng.



Figur 48: Skjematisk sporplan alt.1A - avgreining Kolbotn

Figuren nedenfor viser avgreiningen til Follobanen. Ut i fra figuren kan en se at en unngår kryssende togveger ved avgreining til Follobanen. På bakgrunn av dette er kapasiteten vurdert til å være høy, og løsningen har fått en score på 3 poeng.



Figur 49: Skjematisk sporplan alt.1A - avgreining Follobanen

Oppsummering

Tabell 25 viser sammenstilt vurdering av alternativ 1A.

Tabell 25: Oppsummering vurdering alternativ 1A

Vurderingskriterier	Løsning/verdi	Vurdering	Score
Største stigning (%)	12,5	Mindre bra	1
Største overhøyde (mm)	51	Bra	3
Minste sporveksel	1:12 R500	Mindre bra	1
Laveste maksimal hastighet (km/t)	140	Bra	3
Antall bygninger som bør rives	0	Bra	3
Konflikt med eksisterende infrastruktur	Smalvollveien og Fv152	Mindre bra	1
Omlegging av eksisterende jernbanenett	Omlegging dagsone, Alnabru-Loenga	Middels	2
Konflikt med fremtidige planer	Alnaelven og Kolbotnringen	Middels	2
Muligheter for utvidelse til dobbeltspor	Omlegging av avgreining fra Alnabru og Kolbotn	Mindre bra	1
Kapasitet – avgreining Alnabru	Kryssende togveger	Lav	1
Kapasitet – avgreining Follobanen	Planskilt løsning med to spor	Høy	3
Kapasitet – avgreining Kolbotn	Kryssende togveger	Lav	1
Samlet score			22

8.2 Alternativ 1B

Sporgeometri

Den største overhøyden på alternativet er 137 mm, og er lokalisert ved kryssing av Hovedbanen og Alnaelven. Ut i fra vurderingskriteriene er dette vurdert som mindre bra og gitt en score på 1. Sporvekseltype 1:14 R760 er den minste benyttede sporvekselen, og derfor er det gitt en score på 2 poeng. De andre sporgeometriske parameterne er identiske med alternativ 1A, og har derfor fått samme score. For detaljer henvises det til tabell 26.

Antall bygninger som bør rives

Det er ikke nødvendig å rive noen bygninger ved avgreiningen fra Kolbotn, men ved avgreiningen fra Alnabru bør man rive 13 bygninger øst for Hovedbanen. På bakgrunn av dette er det gitt en score på 1 og vurdert som mindre bra.

Konflikt med eksisterende infrastruktur

Alternativet kan komme i konflikt med Tvetenveien ved tunnelpåhugget, hvor vertikalavstanden er 8 m på et minste. Det er også fare for konflikt med Tvetenveien i plan, men dette er avhengig av utformingen på tunnelpåhugget. Hvis en kan optimalisere løsningen er det kanskje mulig å unngå konflikten. Selv om det kan være optimaliseringsmuligheter er det fortsatt en mulig konflikt. Derfor er løsningen vurdert som middels og gitt en score på 2 poeng.

Omlegging av eksisterende jernbane

Det er bare behov for å bygge sporveksler for å etablere avgreiningene. Fordi godsbanen passerer over hovedbanen og godssporet Alnabru – Loenga, kan det være behov for å stenge disse banene en periode. Vurderingskriteriene tar imidlertid ikke hensyn til eventuell stenging av andre baner. Derfor er løsningen vurdert som bra med en score på 3.

Konflikt med fremtidige planer

Alternativet kan komme i konflikt med Kolbotnringen, som er et kommunalt tiltak. I tillegg kan alternativet komme i konflikt med Hovinbyen, ettersom man bør rive bygninger øst for Hovedbanen. Hovinbyen er et kommunalt tiltak. Ettersom begge konfliktene er kommunale tiltak, er løsningen vurdert som middels og fått en score på 2 poeng.

Muligheter for utvidelse til dobbeltspor

Med unntak av avgreiningen fra Godssporet Alnabru – Loenga, er alternativet identisk med alternativ 1A. Dette innebærer at en ikke trenger å legge om avgreiningen fra Follobanen. Dog må en legge om avgreiningen fra Kolbotn. For ytterligere detaljer henvises det til kapittel 8.1.

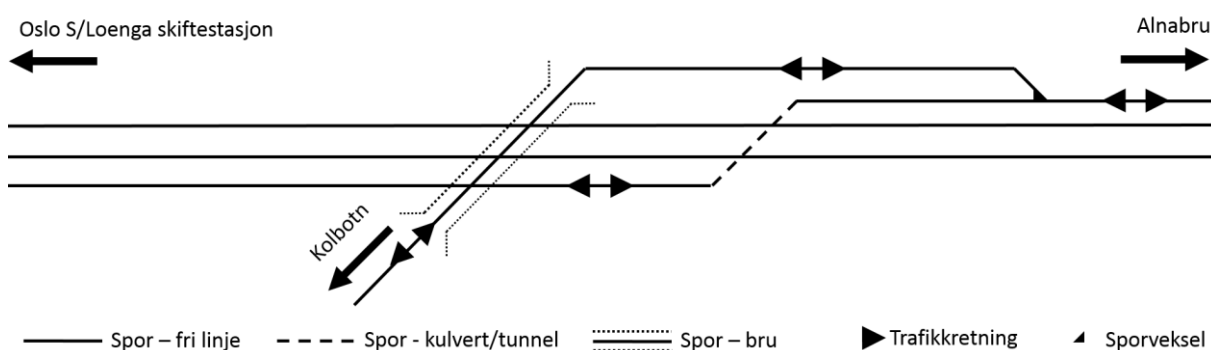
Avgreiningen fra Alnabru er ikke planlagt for utvidelse til dobbeltspor. Likevel er det trolig mulig å legge et ekstra spor øst for godsbanen. Dette kan en løse ved å bygge en sporveksel til fra godssporet Alnabru – Loenga. En annen løsning kan være å etablere en egen trasé for godsbanen til Alnabru godsterminal. Uavhengig av løsning er det sannsynligvis behov for omlegging av godsbanen eller andre baner for å utvide til dobbeltspor. I tillegg kan et ekstra spor medføre større konflikt med Tvetenveien.

Fordi en må legge om to av avgreiningene, er alternativet vurdert som mindre bra for utvidelse til dobbeltspor.

Kapasitet

Ettersom avgreiningene fra Kolbotn og Follobanen er identiske med alternativ 1A er det gitt samme score, henholdsvis 1 og 3 poeng. For begrunnelse henvises det til kapittel 8.1.

Figur 50 illustrerer avgreiningen fra Alnabru som en skjematisk sporplan. Ut i fra figuren kan man se at det er en enkeltsporet planfri løsning. Imidlertid er godssporet Alnabru – Loenga enkeltsporet. Dette reduserer kapasiteten ytterligere, og derfor er det vurdert som en løsning med lav kapasitet. I henhold til vurderingskriteriene er det gitt en score på 1 poeng.



Figur 50: Skjematisk sporplan alt.1B - avgreining Alnabru

Oppsummering

Tabell 26 viser sammenstilt vurdering og score for alternativ 1B.

Tabell 26: Oppsummering - vurdering alternativ 1B

Vurderingskriterier	Løsning/verdi	Vurdering	Score
Største stigning (‰)	12,5	Mindre bra	1
Største overhøyde (mm)	137	Mindre bra	1
Minste sporveksel	1:14 R760	Middels	2
Laveste maksimal hastighet (km/t)	140	Bra	3
Antall bygninger som bør rives	13	Mindre bra	1
Konflikt med eksisterende infrastruktur	Mulig konflikt med Tvetenveien	Middels	2
Omlegging av eksisterende jernbanenett	Sporveksel Alnabru - Loenga	Bra	3
Konflikt med fremtidige planer	Hovinbyen og Kolbotnringen	Middels	2
Muligheter for utvidelse til dobbeltspor	Omlegging av avgreining fra Alnabru og Kolbotn	Mindre bra	1
Kapasitet – avgreining Alnabru	Planskilt løsning, men med enkeltspor	Lav	1
Kapasitet – avgreining Follobanen	Planskilt løsning med to spor	Høy	3
Kapasitet – avgreining Kolbotn	Kryssende togveger	Lav	1
Samlet score			21

8.3 Alternativ 2A

Sporgeometri

Stigningen er størst fra avgreiningene og inn i tunnel og er på 12,5 %. Den minste benyttede sporvekselen er 1:12 R500, og er lokalisert på avgreiningen fra Alnabru. Sannsynligvis er det mulig å få plass til en større sporveksel, men det krever at en legger om et lengre parti av godssporet Alnabru – Loenga. Den laveste maksimal hastigheten 140 km/t og største overhøyde er på 150 mm. Begge parameterne er lokalisert på avgreiningen fra Østfoldbanen. Ut i fra vurderingskriteriene er det gjort vurderinger og gitt score i henhold til tabell 27.

Antall bygninger som bør rives

Det er forutsatt at bygningene nordvest for den planlagte omleggingen av Østfoldbanen har varig mekanisk sikring, fordi eksisterende Østfoldbane ligger nærmere bygningene.

Bygningene dette gjelder er sett bort i fra. På bakgrunn av dette er det nødvendig å rive 10 bygninger. Ut i fra vurderingskriteriene er det vurdert som middels med en score på 2.

Konflikt med eksisterende infrastruktur

Alternativet kommer i konflikt med Smalvollveien, og en må legge om vegen hvis alternativet skal realiseres. I henhold til vurderingskriteriene er dette vurdert som en konflikt med eksisterende infrastruktur og gitt en score på 1.

Omlegging av eksisterende jernbane

For å få plass til en enkel sporveksel på godssporet Alnabru – Loenga må en legge om sporet. Dette er vurdert som en mindre omlegging fordi sporet ligger på en dagsone og omleggingen bare omfatter noen hundre meter. Samtidig er alternativet avhengig av en større omlegging av Østfoldbanen for å etablere avgreiningen. Dog ligger hele den aktuelle strekningen på en dagsone.

Ettersom omleggingene ligger på dagsoner, er løsningen vurdert som middels. Ut fra vurderingskriteriene er det gitt en score på 2 poeng.

Konflikt med fremtidige planer

Alternativet krysser 2,3 – 4,1 m over Alnaelven, hvor Oslo kommune ønsker å åpne elven og etablere en turvei. Avstanden kan medføre utfordringer med etablering av turvei og gjenåpning av Alnaelven. Ettersom dette er et kommunalt tiltak er det gitt en score på 2 og vurdert som middels.

Muligheter for utvidelse til dobbeltspor

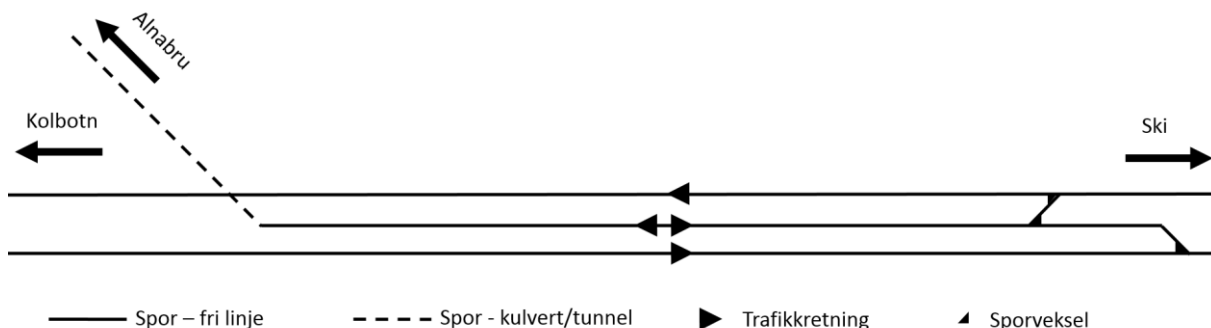
Alternativet har samme løsning som alternativ 1A på avgreiningene fra Alnabru og Follobanen. I vurderingen av alternativ 1A (kapittel 8.1) ble fastslått at det var nødvendig å legge om avgreiningen fra Alnabru, men ikke fra Follobanen.

Avgreiningen fra Østfoldbanen er ikke planlagt for to spor. For å få plass til dobbeltspor må en legge Østfoldbanens høyre spor nærmere fylkesvei 152. Løsningen vil da bli tilsvarende som alternativ 3A og B.

En utvidelse til dobbeltspor krever omlegging av to avgreininger. Derfor er alternativet vurdert som mindre bra med en score på 1 poeng.

Kapasitet

Alternativet har samme løsning på avgreiningene fra Alnabru og Follobanen som alternativ 1A. Det er derfor gitt samme poengsum på løsningene. For ytterligere detaljer henvises det til kapittel 8.1. Avgreiningen fra Østfoldbanen er vist i figuren nedenfor. Ut i fra den skjematiske sporplanen kan en se at det er planlagt et kryssingsspor som går under Østfoldbanen. På basis av vurderingskriteriene er løsningen vurdert som middels med score på 2.



Figur 51: Skjematisk sporplan alt.2A - avgreining Østfoldbanen

Oppsummering

I tabellen nedenfor er vurderingen av alternativ 2A sammenstilt med poengsummene.

Tabell 27: Oppsummering vurdering alternativ 2A

Vurderingskriterier	Løsning/verdi	Vurdering	Score
Største stigning (‰)	12,5	Mindre bra	1
Største overhøyde (mm)	150	Mindre bra	1
Minste sporveksel	1:12 R500	Mindre bra	1
Laveste maksimal hastighet (km/t)	140	Bra	3
Antall bygninger som bør rives	10	Middels	2
Konflikt med eksisterende infrastruktur	Konflikt med Smalvollveien	Mindre bra	1
Omlegging av eksisterende jernbanenett	Dagsone, godssporet Alnabru – Loenga og Østfoldbanen	Middels	2
Konflikt med fremtidige planer	Alnaelven	Middels	2
Muligheter for utvidelse til dobbeltspor	Omlegging av avgreining fra Alnabru og Østfoldbanen	Mindre bra	1
Kapasitet – avgreining Alnabru	Planskilt løsning, med enkeltspor	Lav	1
Kapasitet – avgreining Follobanen	Planskilt løsning med to spor	Høy	3
Kapasitet – avgreining Østfoldbanen	Planskilt løsning med kryssingsspor	Middels	2
Samlet score			20

8.4 Alternativ 2B

Sporgeometri

Alternativet har en største stigning på 12,5 %. Den minste benyttede sporvekselen er 1:14 R760, lokalisert på avgreiningene fra Alnabru og Østfoldbanen. Den laveste maksimale hastigheten er 140 km/t og største overhøyde er 150 mm. Begge parameterne tilhører avgreiningen fra Østfoldbanen. Ut i fra vurderingskriteriene er det gjort vurderinger og gitt score i henhold til tabell 28.

Antall bygninger som bør rives

Avgreiningen fra Greverud er identisk med alternativ 2A, hvor 10 bygninger bør rives. Ved Alnabru er avgreiningen identisk med alternativ 1B, hvor det er lagt til grunn riving av 13 bygninger. Dette betyr at en totalt bør rive 23 bygninger. Derfor er løsningen vurdert som mindre bra.

Konflikt med eksisterende infrastruktur

Alternativet har en mulig konflikt med Tvetenveien ved tunnelpåhugget. På det minste er vertikalavstanden 8 m. Utformingen av tunnelpåhugget kan medføre fare for konflikt med Tvetenveien i plan. Det er kanskje mulig unngå konflikten ved å optimalisere alternativet, men likevel er det fortsatt en mulig konflikt. På bakgrunn av dette er løsningen vurdert som middels og gitt en score på 2 poeng.

Omlegging av eksisterende jernbane

Avgreiningen fra Greverud medfører en større omlegging av Østfoldbanen. Strekningen er som er planlagt omlagt ligger imidlertid på en dagsone. På avgreiningen fra Alnabru er det tilstrekkelig å bygge en sporveksel på godssporet Alnabru – Loenga.

Løsningen er vurdert som middels ettersom man må legge om en eksisterende dagsonestrekning. Ut i fra vurderingskriteriene er det gitt en score på 2 poeng.

Konflikt med fremtidige planer

Alternativ 2B kan komme i konflikt med Hovinbyen fordi godsbanen medfører riving av bygninger øst for Hovedbanen. Ettersom tiltaket er kommunalt er løsningen som middels og gitt en score på 2.

Muligheter for utvidelse til dobbeltspor

Avgreiningen fra Alnabru er identisk med alternativ 1B. I vurderingen av 1B (kapittel 8.2) er fastslått at en må legge om avgreiningen fra Alnabru for å utvide til to spor. Alle alternativene har samme avgreining fra Follobanen, som er planlagt for utvidelse til dobbeltspor.

Alternativet har samme løsning på avgreiningen fra Østfoldbanen som alternativ 2B. I kapittel 8.3 ble det lagt til grunn at avgreiningen fra Østfoldbanen må legges om for utvidelse til dobbeltspor.

Ettersom en må legge om to avgreininger for utvidelse til dobbeltspor er alternativer vurdert som mindre bra. I henhold til vurderingskriteriene er det gitt 1 poeng.

Kapasitet

Alternativet har samme løsning på avgreining fra Alnabru som alternativ 1A, og alle alternativene har samme løsning på avgreiningen fra Follobanen. Avgreiningen fra Østfoldbanen har samme løsning som alternativ 2A. Derfor er det gitt samme poengsum på løsningene. Vurdering og score er oppgitt i tabell 28. For begrunnelse henvises det til kapittel 8.1, 8.2 og 8.3.

Oppsummering

Tabell 28 viser vurderingen av alternativ 2B sammenstilt med score.

Tabell 28: Oppsummering vurdering alternativ 2B

Vurderingskriterier	Løsning/verdi	Vurdering	Score
Største stigning (‰)	12,5	Mindre bra	1
Største overhøyde (mm)	150	Mindre bra	1
Minste sporveksel	1:14 R760	Middels	2
Laveste maksimal hastighet (km/t)	140	Bra	3
Antall bygninger som bør rives	23	Mindre bra	1
Konflikt med eksisterende infrastruktur	Mulig konflikt med Tvetenveien	Middels	2
Omlegging av eksisterende jernbanenett	Dagsone - Østfoldbanen	Middels	2
Konflikt med fremtidige planer	Hovinbyen	Middels	2
Muligheter for utvidelse til dobbeltspor	Omlegging av avgreining fra Alnabru og Østfoldbanen	Mindre bra	1
Kapasitet – avgreining Alnabru	Planskilt løsning, med enkeltspor	Lav	1
Kapasitet – avgreining Follobanen	Planskilt løsning	Høy	3
Kapasitet – avgreining Østfoldbanen	Planskilt løsning med kryssingsspor	Middels	2
Samlet score			21

8.5 Alternativ 3A

Sporgeometri

Den største stigningen til alternativet er på 12,5 %, og er tilknyttet til avgreiningene.

Alternativets minste benyttede sporveksel er 1:12 R500, og er lokalisert på avgreiningen fra Alnabru. Det er trolig mulig å få plass til en større sporveksel, men det krever at en legger om et lengre parti av godssporet Alnabru – Loenga. Den laveste maksimale hastigheten, utenom avvikende spor i sporveksel, er 100 km/t på avgreiningen til Østfoldbanen. Avgreiningen har også den største overhøyden med 101 mm. I tabell 29 er det gjort vurdering og gitt poeng i henhold til vurderingskriteriene.

Antall bygninger som bør rives

Ved avgreiningen fra Greverud er det nødvendig å rive 10 bygninger. Alternativet har samme løsning på avgreiningen fra Alnabru som alternativ 1A og 2A. I vurderingen av alternativ 1A (kapittel 8.1) ble det fastsatt at man ikke trenger å rive noen bygninger. Dette innebærer at en totalt bør rive 10 bygninger.

Ut i fra vurderingskriteriene har løsningen fått en score på 2 og er vurdert som middels.

Konflikt med eksisterende infrastruktur

Alternativet har en konflikt med Smalvollveien ved avgreiningen fra Alnabru. Avgreiningen er identisk med avgreiningene til alternativ 1B og 2B. Løsningen har derfor fått samme score på 2 poeng. For ytterligere detaljer henvises det til kapittel 8.2 (vurdering av alternativ 1B).

Omlegging av eksisterende jernbane

På avgreiningen fra Alnabru må man legge om godssporet Alnabru – Loenga for å få plass til en enkel sporveksel. Strekningen som må legges om ligger på en dagsone og er bare noen hundre meter lang.

Avgreiningen fra Greverud krever en større omlegging av Østfoldbanen, men hele den aktuelle strekningen ligger på en dagsone.

Ettersom begge omleggingene ligger på dagsoner, er løsningen vurdert som middels. Ut fra vurderingskriteriene er det gitt en score på 2 poeng.

Konflikt med fremtidige planer

Alternativet kommer i konflikt med fremtidig turvei og åpning av Alnaelven. Løsningen er identisk med avgreiningene i alternativ 1A og 2A. Derfor er det gitt en score på 2. For detaljer og begrunnelse henvises det til kapittel 8.3.

Muligheter for utvidelse til dobbeltspor

På avgreiningene fra Alnabru og Follobanen har alternativet samme løsning som alternativ 1A og 2A. I vurderingen av alternativ 1A (kapittel 8.1) ble det fastslått at det er nødvendig å legge om avgreiningen fra Alnabru, men ikke fra Follobanen, for å utvide til to spor.

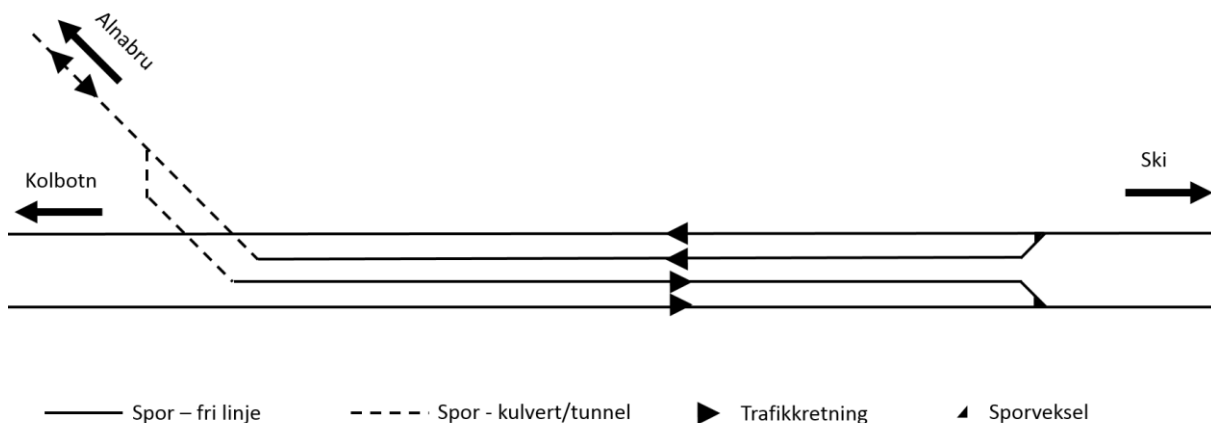
Avgreiningen fra Greverud er planlagt for to spor. En trenger derfor ikke legge om avgreiningen for å utvide til dobbeltspor.

Alternativet trenger bare å legge om avgreiningen fra Alnabru. Derfor er alternativet vurdert som middels for utvidelse til dobbeltspor og gitt en score på 2.

Kapasitet

Avgreiningene fra Alnabru og Follobanen er identiske med alternativ 1A og 2A. Derfor er det gitt samme poengsum på løsningene, henholdsvis 1 og 3 poeng. For begrunnelse henvises det til kapittel 8.1, vurdering av alternativ 1A.

Figur 52 viser avgreiningen fra Østfoldbanen som en skjematisk sporplan. Ut i fra figuren kan en se at det er planlagt en planskilt løsning med dobbeltspor under Østfoldbanens venstre spor. På bakgrunn av vurderingskriteriene er kapasiteten vurdert som bra med score en på 3 poeng.



Figur 52: Skjematisk sporplan alt.3A - avgreining Østfoldbanen

Oppsummering

Tabellen nedenfor viser sammenstilt vurdering av alternativ 3A.

Tabell 29: Oppsummering vurdering alternativ 3A

Vurderingskriterier	Løsning/verdi	Vurdering	Score
Største stigning (‰)	12,5	Mindre bra	1
Største overhøyde (mm)	101	Middels	2
Minste sporveksel	1:12 R500	Mindre bra	1
Laveste maksimal hastighet (km/t)	100	Middels	2
Antall bygninger som bør rives	10	Middels	2
Konflikt med eksisterende infrastruktur	Konflikt med Smalvollveien	Mindre bra	1
Omlegging av eksisterende jernbanenett	Dagsone, Alnabru – Loenga og Østfoldbanen	Middels	2
Konflikt med fremtidige planer	Alnaelven	Middels	2
Muligheter for utvidelse til dobbeltspor	Omlegging av avgreining fra Alnabru	Middels	2
Kapasitet – avgreining Alnabru	Kryssende togveger	Lav	1
Kapasitet – avgreining Follobanen	Planskilt med to spor	Høy	3
Kapasitet – avgreining Kolbotn	Planskilt med to spor	Høy	3
Samlet score			22

8.6 Alternativ 3B

Sporgeometri

Stigningen er størst i tilknytning til avgreiningene og er på 12,5 ‰. Den minste benyttede sporvekselen er 1:14 R760, som er lokalisert på avgreiningene fra Alnabru og Østfoldbanen. Avgreiningen fra Østfoldbanen har den laveste maksimale hastigheten og den største overhøyden. Den laveste maksimale hastigheten er 100 km/t og den største overhøyde er på 101 mm. Ut i fra vurderingskriteriene er det gjort vurderinger og gitt score i henhold til tabell 30.

Antall bygninger som bør rives

Avgreiningen fra Alnabru er identisk med alternativ 1B og 2B. Fra vurderingen av alternativ 1B (kapittel 8.2) vet man at en bør rive 13 bygninger ved Alnabru. Alternativet har samme løsning på avgreiningen fra Østfoldbanen som 3A. I henhold til vurderingen av alternativ 3A (kapittel 0) bør en rive 13 bygninger. For å realisere alternativet bør en totalt rive 23 bygninger. Ut i fra vurderingskriteriene er dette vurdert som mindre bra med en score på 1.

Konflikt med eksisterende infrastruktur

Alternativet har samme konflikter som alternativ 2B, og derfor er det gjort samme vurdering. For detaljer henvises det til kapittel 8.4 (vurdering av alternativ 2B). Score og vurdering er oppgitt i tabell 30.

Omlegging av eksisterende jernbane

Løsningen medfører en betydelig omlegging av Østfoldbanen. Imidlertid ligger hele strekningen på en dagsone, dvs. at det ikke er tunneler, kulvert o.l. på strekningen. På avgreiningen fra Alnabru er det tilstrekkelig å bygge en sporveksel på godssporet Alnabru – Loenga.

Løsningen er vurdert som middels ettersom en må legge om Østfoldbanen på en dagsone. Ut i fra vurderingskriteriene er det gitt en score på 2 poeng.

Konflikt med fremtidige planer

Det er gitt en score på 2 på grunn mulig konflikt med Hovinbyen, som er et kommunalt tiltak. Den mulige konflikten er den samme som for alternativ 1B og 2B. Derfor henvises det til kapittel 8.2 (vurdering av alternativ 1B) for detaljer.

Muligheter for fremtidig utvidelse

Avgreiningen fra Alnabru er identisk med alternativ 1B. I vurderingen av alternativ 1B (kapittel 8.2) ble det lagt til grunn at en må legge om avgreiningen fra Alnabru. Alle alternativene har samme avgreining fra Follobanen, som er planlagt for utvidelse til dobbeltspor. Avgreiningen fra Østfoldbanen er identisk med alternativ 3A og er planlagt med to spor.

Mulighetene for utvidelse til dobbeltspor er vurdert som middels, fordi en kun trenger å legge om avgreiningen fra Alnabru. I henhold til vurderingskriteriene er det gitt 2 poeng.

Kapasitet

For avgreiningen tilknyttet Østfoldbanen er løsningen identisk med alternativ 3A. På bakgrunn av vurderingen av alternativ 3A (kapittel 0), er løsningen vurdert til å ha høy kapasitet og gitt en score på 3.

Avgreiningen fra Alnabru har samme løsning som alternativ 1B. Løsningen er vurdert til å ha lav kapasitet og er gitt en score på 1. For ytterligere detaljer henvises det til kapittel 8.2.

Oppsummering

Vurderingen av alternativ 3B er sammenstilt i tabellen nedenfor.

Tabell 30: Oppsummering vurdering alternativ 3B

Vurderingskriterier	Løsning/verdi	Vurdering	Score
Største stigning (‰)	12,5	Mindre bra	1
Største overhøyde (mm)	101	Middels	2
Minste sporveksel	1:14 R760	Middels	2
Laveste maksimal hastighet (km/t)	100	Middels	2
Antall bygninger som bør rives	23	Mindre bra	1
Konflikt med eksisterende infrastruktur	Mulig konflikt med Tvetenveien	Middels	2
Omlegging av eksisterende jernbanenett	Dagsone - Østfoldbanen	Middels	2
Konflikt med fremtidige planer	Hovinbyen	Middels	2
Muligheter for utvidelse til dobbeltspor	Omlegging av avgreining fra Alnabru	Middels	2
Kapasitet – avgreining Alnabru	Planskilt med 1 spor	Lav	1
Kapasitet – avgreining Follobanen	Planskilt med to spor	Høy	3
Kapasitet – avgreining Kolbotn	Planskilt med to spor	Høy	3
Samlet score			23

8.7 Oppsummering

I tabellen nedenfor er vurderingene av alle alternativene sammenstilt. I tillegg til samlet score er det oppgitt total score for hovedpunktene - sporgeometrisk utforming, tilpasning til lokale forhold, fremtidige planer og fremtidig trafikk.

Tabell 31: Sammenstilt vurdering av alternativer

Vurderingskriterier	Alt.1A	Alt.1B	Alt.2A	Alt.2B	Alt.3A	Alt.3B
Største stigning (‰)	1	1	1	1	1	1
Største overhøyde (mm)	3	1	1	1	2	2
Minste sporveksel	1	2	1	2	1	2
Laveste maksimal hastighet (km/t)	3	3	3	3	2	2
Score sporgeometri	8	7	6	7	6	7
Antall bygninger som bør rives	3	1	2	1	2	1
Konflikt med eksisterende infrastruktur	1	2	1	2	1	2
Omlegging av eksisterende jernbanenett	2	3	2	2	2	2
Score lokale forhold	6	6	5	5	5	5
Konflikt med fremtidige planer	2	2	2	2	2	2
Muligheter for utvidelse til dobbeltspor	1	1	1	1	2	2
Score fremtidige planer	3	3	3	3	4	4
Kapasitet – avgreining Alnabru	1	1	1	1	1	1
Kapasitet – avgreining Follobanen	3	3	3	3	3	3
Kapasitet – avgreining Østfoldbanen	1	1	2	2	3	3
Score fremtidig trafikk	5	5	6	6	7	7
Samlet score	22	21	20	21	22	23

9 Diskusjon

Alternativ 3B kommer best ut av vurderingen i kapittel 8. Imidlertid skiller det bare 3 poeng mellom alternativ 3B og det dårligste alternativet, 2A. I tillegg har alternativ 1A og 3A bare 1 poeng mindre enn alternativet som kommer best ut.

De små differansene kan skyldes poengsystemet. En løsning som er vurdert som bra får bare 2 poeng mer enn en løsning som er vurdert som mindre bra. Hvis man gir en score på 5 for en bra løsning, en score på 3 til en middels vurdering og 1 poeng til en mindre bra løsning øker differansen til 4 poeng. Alternativ 3B ville da fått en score på 34 poeng, 2 mer enn alternativ 1A og 3A. Differansen ville vært på 6 poeng mellom det beste og dårligste alternativet.

Imidlertid kan de små differansene skyldes svakheter i vurderingskriteriene, noe som er nærmere diskutert i de påfølgende underkapitlene.

Spørgeometrisk utforming

Alternativ 1A har fått 1 poeng mer enn alternativ 3B på spørgeometrisk utforming. Dette kan skyldes at vurderingen av laveste maksimal hastighet er veldig teoretisk. Den representerer ikke den faktiske fremføringshastigheten, men den dimensjonerende hastigheten. Dette medfører at den ikke tar hensyn til akselerasjonen. For eksempel er det benyttet sporvekseltype 1:12 R500 i alternativ 1A, noe som gir en hastighet på 60 km/t i avvik. Etter denne sporvekselen er dimensjonerende hastighet 140 km/t, men togene trenger en viss akselerasjonslengde. Derfor er det ikke mulig å kjøre i 140 km/t rett etter sporvekselen. Alternativ 3B har en avgreining som begrenser laveste maksimal hastighet til 100 km/t, men det avvikende sporet i sporvekselen tillater en hastighet på 80 km/t. Det er større sjanse for togene kan akselerere fra 80 til 100 km/t enn fra 60 til 140 km/t på en kort strekning. Hvis en antar at den faktiske fremføringshastigheten hadde vært identiske for alle alternativene, ville alternativ 1A og 3B fått samme og høyest poengsum på spørgeometrisk utforming.

Tilpasning til lokale forhold

I vurderingen av tilpasning til lokale forhold kommer alternativ 1A og 1B best ut. Imidlertid har alternativ 3B bare 1 poeng mindre.

En årsak til dette kan være at vurderingskriteriet for konflikt med eksisterende infrastruktur ikke tar hensyn til hvor mange konflikter det er. Alternativ 1A har konflikter med Smalvollveien og fylkesvei 152, og alternativ 3B har en mulig konflikt med Tvetenveien. I tillegg er sannsynligvis ikke mulig å optimalisere seg unna konfliktene til alternativ 1A og 1B. For å unngå konfliktene krever det en betydelig større stigning enn 12,5 %. Alternativene 1A

og 1B har imidlertid fått lavere score siden det er «sikre» konflikter. Derfor ville trolig ikke en vurdering av antall konflikter endret poengsummen.

En annen årsak til de små differansene i poengsum kan være at vurderingskriteriene for lokale forhold ikke tar hensyn til hvor mange løpemetere med jernbane som må omlegges. En trenger ikke legge om eksisterende jernbane for å realisere alternativ 1B. Alternativene 2A, 2B, 3A og 3B innebærer at en må legge om begge sporene til Østfoldbanen. For å realisere alternativ 1A holder det å legge om en kortere strekning av godssporet Alnabru – Loenga. Til tross for dette har alternativ 1A og 3B fått samme score på omlegging av eksisterende jernbane. Hvis en hadde tatt hensyn til antall løpemetere ville trolig alternativ 1B fått høyest score. Alternativ 1A ville sannsynligvis blitt vurdert som middels og de andre alternativene som mindre bra.

Tilpasning til fremtidige planer

I vurderingen av tilpasningen til fremtidige planer har alternativ 3A og 3B fått høyest poengsum. Likevel har de bare fått 1 poeng mer de andre alternativene. Hovedårsaken til differansen er at alternativ 3A og 3B er bedre tilpasset utvidelse til dobbeltspor. Imidlertid er det mulig at en ikke trenger dobbeltspor helt til Alnabru godsterminal. Uavhengig av eventuelt dobbeltspor vil kapasiteten begrenses av tilgjengelig ventespør på Alnabru godsterminal, trafikk på Alnabanen og Alnabru – Loenga.

Derfor kan forbikjøringsspor være en alternativ løsning. Lokalisering av forbikjøringsspor krever imidlertid en omfattende kapasitetsanalyse, noe som ikke er inkludert omfanget til oppgaven. Hvis en på grunn av usikkerhet hadde sett bort i fra dette vurderingskriteriet, ville alle alternativene fått samme poengsum. På en annen side er det viktig å bygge for fremtiden, fordi jernbanelinjer normal har lang levetid. En vurdering av tilpasning til dobbeltspor gir en god indikasjon på tilpasning til fremtidige planer. I tillegg risikerer man betydelig endringer etter ferdigstilling hvis en ikke vurderer dette emnet. Noe som i verste fall kan det bli meget kostbart.

Vurderingskriteriet for konflikt med fremtidige planer tar imidlertid ikke hensyn til antall konflikter. Alternativene scorer likt på dette vurderingskriteriet, men alternativ 1A kan komme i konflikt med planene for Alnaelven og Kolbotnringen. Alternativ 1B kan i tillegg komme i konflikt med Hovinbyen. De andre alternativene har bare en mulig konflikt. Alternativ 2A og 3A kan komme i konflikt med Alnaelven, og alternativ 2B og 3B har en mulig konflikt med Hovinbyen. Hvis en hadde sett bort i fra mulig utvidelse til dobbeltspor og tatt hensyn til antall konflikter, ville alternativene 2A, 2B, 3A og 3B kommet best ut. På en annen side er det en viss usikkerhet tilknyttet realisering av fremtidige planer. Derfor kan en vurdering av antall konflikter med fremtidige planer være et usikkert vurderingsparameter.

Fremtidig trafikk

Alternativ 3A og 3B er ut i fra vurderingen best tilpasset fremtidig trafikk. Dog har alternativene, 1A og 1B, som kom dårligst ut av vurderingen kun 2 poeng mindre. Årsaken til dette er ulik score på avgreiningene fra Østfoldbanen. Alternativ 3A og 3B har en avgreining med dobbeltspor fra Greverud, som vurdert til å høyere kapasitet enn de andre avgreiningene. Avgreiningen til alternativ 1A og 1B, som er lokalisert ved Kolbotn, har kryssende togveger. På grunn av kryssende togveger har kapasiteten til avgreiningen blitt vurdert som lav. Alternativ 2A og 2B har avgreining fra Greverud med enkeltspor, som er vurdert til å ha middels kapasitet. Det bør være liten tvil om at avgreiningen fra Kolbotn har lavere kapasitet enn avgreiningene fra Greverud uten kryssende togveger.

Det er ikke sett nærmere på lokaliseringen av avgreiningene i forhold til kapasitet. Hastighetsdifferanse mellom godstog og persontog kan begrense kapasiteten. Derfor kan det hende at det er en fordel at avgreiningen i ikke plasseres for langt unna et forbikjøringsspor. For avgreiningene fra Alnabru har det trolig liten betydning, fordi alle de alternative avgreiningene er lokalisert i nærheten av Alnabru godsterminal. Det har ingen betydning for avgreiningen fra Follobanen, siden alle alternativene har samme løsning og er lokalisert på samme sted. Imidlertid kan det ha betydning for avgreiningen fra Østfoldbanen, hvor det vil bli bygget forbikjøringsspor på Ski stasjon. Etersom Greverud ligger nærmere Ski stasjon kan det bety at alternativene med avgreining derfra har høyere kapasitet. Det er imidlertid stor usikkerhet tilknyttet dette, og det krever en mer omfattende vurdering av kapasiteten. Derfor omfatter ikke vurderingene lokalisering av avgreiningene i forhold til kapasitet.

Det kan hende at kapasitetsvurderingene er vektlagt i for stor grad med tanke på at det bare er en overordnet vurdering. På en annen side er det bare avgreiningen fra Østfoldbanen som skiller alternativene. Derfor er det lite trolig at en komplett kapasitetsanalyse ville vurdert dette annerledes. En komplett kapasitetsanalyse kan imidlertid kanskje vurdere avgreiningen fra Kolbotn til å være bra nok.

10 Anbefaling

I vurderingen kommer alternativ 3B best ut, hovedsakelig på grunn høyest score på tilpasning til fremtidig planer og trafikk. I vurderingene av tilpasning til fremtidig trafikk er det bare avgreiningen fra Østfoldbanen som skiller alternativene. Alternativene som er vurdert til å ha lavest kapasitet har kryssende togveger, og derfor er det tvilsomt at en kapasitetsanalyse ville endret vurderingen

Alternativ 3B har sammen med alternativ 3A fått høyest poengsum i vurderingen av tilpasning til fremtidige planer. Årsaken til dette er at alternativene er best tilpasset utvidelse til dobbeltspor. Hvis en hadde sett bort i fra utvidelse til dobbeltspor hadde alle alternativene kommet likt ut. Jernbanelinjer har imidlertid normalt lang levetid, derfor er det meget viktig å bygge for fremtiden.

På vurderingen av sporgeometrisk utforming kommer alternativ 1A best ut. Imidlertid hadde trolig alternativ 1A og 3B kommet likt ut hvis en hadde sett på den faktiske fremføringshastigheten.

I vurderingen av tilpasning til eksisterende situasjon kommer alternativ 1A og 1B best ut. Dersom en hadde tatt hensyn til antall løpemeter med eksisterende jernbane som må legges om, hadde trolig differansen mellom alternativ 1A og 3B vært større.

Alternativ 3B har fått høyest samlet score i vurderingen av alternativene. En spissing av vurderingskriteriene ville trolig ikke endret det. Derfor er alternativ 3B anbefalt som den beste løsningen. Imidlertid bør man utføre et kostnadsoverslag og kapasitetsanalyse hvis skal benytte alternativet som grunnlag for prosjektering i en senere fase.

11 Samlet vurdering

I dette kapitlet er det sett på oppgavens hovedfunn, samt hva en kunne sett nærmere på i oppgaven.

11.1 Hovedfunn

Sporgeometri

I problemstillingen er det lagt til grunn at alternativene skal være tilpasset 1500 tonn tunge og 750 meter lange tog. Dette er det samme som konsekvensutredningen for godsforbindelse til Alnabru godsterminal

Beregningene i oppgaven viser at det ikke er mulig å dimensjonere banen i henhold til teknisk regelverk, med 12,5 ‰ stigning, hvis en skal trafikkere banen med et lokomotiv og 1500 tonn tunge tog i 80 km/t. For at eksisterende lokomotiv skal kunne trafikkere godsbanen og eksisterende jernbanenett er det lagt til grunn en togvekt på 1000 – 1400 tonn og en stigning på 12,5 ‰.

For dimensjonering av baner med godstrafikk kan det være av interesse at eksisterende lokomotiv med togvekt på 1500 tonn ikke kan trafikkere baner med 12,5 ‰ stigning i 80 km/t. Det kan også være interessant i forhold til hvor tunge tog man kan godkjenne på det norske jernbanenettet.

Alternativsøk

Som følge av alternativsøket er det blitt presentert seks alternativer. Alternativene kombinerer to forskjellige avgreininger fra Alnabru og tre forskjellige avgreininger fra Østfoldbanen. Avgreiningene fra Østfoldbanen er lokalisert på Kolbotn og Greverud. Alle alternativene har samme avgreining fra Follobanen.

Alternativ 3B er anbefalt som det best alternativet, selv om det skiller lite mellom alternativene i vurderingen. Alternativet kommer best ut av vurderingen, hovedsakelig på grunn høyest score på tilpasning til fremtidig planer og trafikk. Årsaken til dette er at alternativet er planlagt med en dobbeltsporet avgreining fra Greverud, som har høy kapasitet og ikke kommer i konflikt med fremtidige planer. På bakgrunn av dette belyser oppgaven at det er bedre med avgreining fra Greverud enn Kolbotn, noe som kan være interessant for eventuell fremtidig prosjektering av godsbane til Alnabru godsterminal. En årsak til dette er at Østfoldbanen stiger mot Myrvoll og godsbanen faller. Utformingen av en planfri avgreining med høy kapasitet blir dermed mindre arealkrevende.

11.2 Videre arbeid

Sporgeometri

I oppgaven er det vurdert sporgeometri for godsbaner tilpasset 1500 tonn tunge og 750 meter lange tog. Dette arbeidet er likevel ikke fullstendig, hvis en skulle gjort det kunne det sannsynligvis vært et eget tema for masteroppgaven. Hvis en skulle jobbet videre med denne delen av oppgaven kunne man sett nærmere på:

- Retardasjonslengde og akselerasjonslengde med tanke på dimensjonerende hastighet. Alternativene er dimensjonert for en maksimal hastighet på 140 km/t. Den høye togvekten kan imidlertid medføre at akselerasjon- retardasjonslengden blir så lang at det ikke er praktisk gjennomførbart.
- Akselerasjonslengde i forhold til dimensjonerende stigning og togvekt. Det er bevist at lokomotivene klarer å akselerere til dimensjonerende hastighet i stigning. Derimot kan det hende at akselerasjonslengden er så lang at en bør operere med mindre stigning eller lavere togvekt.
- Retardasjonslengde med tanke på fall og togvekt. Det kan hende at retardasjonslengden blir så lang at en bør redusere fallet eller togvekten. Dette kan være relevant i forhold til sikkerhet og praktisk togframføring.
- Kravet til manglende overhøyde. Dette kravet er hovedsakelig et komfortkrav. Ettersom godsbaner ikke har passasjerer er det mulig at en kunne økt kravet til manglende overhøyde.
- Reduksjon av overgangskurvens lengde. Dimensjonerende lengde er styrt av komfortkravet til passasjerer, noe som ikke er nødvendig for separate godsbaner.
- Luftmotstand i tunneler, som gir større kjøremotstand enn på fri linje. Dette kan ha innvirkning på maksimal stigning, maksimal hastighet og akselerasjonslengde. Kanskje er luftmotstanden så stor at en må bruke stort tunnelverrsnitt eller luftsjakter for å redusere virkningen.

Alternativsøk

Det er utført alternativsøk med hovedvekt på avgreiningene i oppgaven. Oppgaven er utført i en tidsbegrenset periode, derfor er ikke alle alternative løsninger eller alle forhold belyst. En kunne blant annet sett nærmere på følgende løsninger og vurderinger:

- Avgreining fra Greverud, hvor godsbanen går på utsiden av Østfoldbanen og i tunnel på samme måte som alternativ 2A, 2B, 3A og 3B. Med en slik løsning hadde sannsynligvis omleggingen av Østfoldbanen blitt mindre omfattende.
- Planskilt avgreining med dobbeltspor fra Kolbotn. Under alternativsøket forsøkte en å prosjektere løsningen, men avgreiningen ville gitt store konsekvenser for Kolbotn sentrum. Avgreiningen krevde en detaljeringsgrad som ikke samsvarte med oppgavens tidsbegrensede periode. I tillegg virket ikke planene gjennomførbare ut i fra den overordnede prosjekteringen.
- Presentert en planskilt avgreining med dobbeltspor mellom Solbråtan og Myrvoll stasjon. En forsøkte å prosjektere løsningen under arbeidet med alternativsøket. Terrenget er meget kupert, noe som gjorde det utfordrende å prosjektere løsningen uten å store innvirkninger på området. Ut i fra en overordnet prosjektering virket ikke løsningen gjennomførbar. Det er imidlertid mulig at løsningen er gjennomførbar hvis det prosjekteres med høyere detaljeringsgrad.
- Avgreining på Østfoldbanen fra Langhus stasjon, hvor det i henhold til løfteskjemaet for Østfoldbanen er en rettlinje på 315 meter.
- Avgreining fra Alnabru med dobbeltspor helt til Alnabru godsterminal, som inkluderer større omlegging av godssporet Alnabru – Loenga.
- Kostnadsvurdering av alle alternativene, slik at en kunne belyst om det anbefalte alternativet har et akseptabelt kostnadsnivå i forhold til de andre alternativene.
- Grafisk rute for Kolbotn – Ski, basert på eksisterende og fremtidig trafikk. Dette kunne en benyttet for å finne den beste lokaliseringen for avgreiningen til godsbanen.

Litteraturliste

- BJERKE, T., HOLOM, F., HAUGEN, T. og TOVÅS, O. 2013. *Banedata 2013 - Data om infrastrukturen til jernbanene i Norge*. Hamar: Norsk Jernbanemuseum.
- CHEN, H., BAN, T., ISHIDA, M. og NAKAHARA, T. 2002. *Adhesion between rail/wheel under water lubricated contact*, *Wear*, 253(1-2), s. 75-81.
- DIREKTORATET FOR SAMFUNNSSIKKERHET OG BEREDSKAP 2006. *Veiledning til forskrift om elektriske forsyningsanlegg*. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.
- ESVELD, C. 2001. *Modern Railway Track*. 2. utg. Zaltbommel: MRT-Productions.
- HOLME, J. 1994. *Grunnleggende faktorer for jernbanens tekniske linjefremføring*. Undervisningsnotat i BA6012 Grunnleggende jernbaneteknikk. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- HOLTET, T. 2016. 'Ny togrevolusjon gir milliardgevinst', *Jernbanemagasinet nr. 1-2016*, 11. februar, s. 17-20.
- JERNBANEVERKET *Østfoldbanen*. Tilgjengelig fra: <http://www.jernbaneverket.no/Jernbanen/Banene/Ostfoldbanen/> (Hentet: 11. mars 2016).
- JERNBANEVERKET 2007. *Godstransport på bane - Jernbaneverkets strategi*. Jernbaneverket.
- JERNBANEVERKET 2013. *Utredning av godsforbindelse Alnabru - Ny forbindelse mellom sørkorridoren og Alnabru godsterminal*. Jernbaneverket.
- JERNBANEVERKET 2014a. *Follobanen*. Tilgjengelig fra: <http://www.jernbaneverket.no/Prosjekter/prosjekter/follobanen/Follobanen/> (Hentet: 30. mars 2016).
- JERNBANEVERKET 2014b. *Kolbotn stasjon - Utredning av ny stasjonslokalisering* Jernbaneverket.
- JERNBANEVERKET 2015a. *Alnabru Delrapport 01: Dagens situasjon*. Jernbaneverket.
- JERNBANEVERKET 2015b. *Jernbanen mot 2050 - Perspektiver for transport i byområder og mer gods på bane*. Jernbaneverket.
- JERNBANEVERKET 2015c. *Jernbanestatistikk 2014*. Jernbaneverket.
- JERNBANEVERKET 2015d. *Network Statement 2017*. Jernbaneverket.
- JERNBANEVERKET 2016a. *Jernbaneverkets Kartvisning*. Tilgjengelig fra: <http://customapps2.geodataonline.no/Jernbaneverket/kartinnsyn/> (Hentet: 10. mars 2016).
- JERNBANEVERKET 2016b. *Løfteskjema - banenummer 0540*. Jernbaneverket.
- JERNBANEVERKET 2016c. *Teknisk regelverk - Overbygning/Prosjektering/Generelle tekniske krav*. Tilgjengelig fra: https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Generelle_tekniske_krav (Hentet: 27. april 2016).

-
- JERNBANEVERKET 2016d. *Teknisk regelverk - Overbygning/Prosjektering/Sporets trasé*. Tilgjengelig fra: https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporets_tras%C3%A9#Vertikaltras.C3.A9 (Hentet: 22. april 2016).
- JERNBANEVERKET 2016e. *Teknisk regelverk - Overbygning/Prosjektering/Sporveksler*. Tilgjengelig fra: https://trv.jbv.no/wiki/Overbygning/Prosjektering/Sporveksler#Valg_av_sporvekseltype (Hentet: 26. april 2016).
- JM NORGE AS 2015a. *Ekornrud - Skogbyen på Myrvoll*. Tilgjengelig fra: <http://www.jm.no/boliger/finn-din-bolig/akershus/oppegard/myrvoll/ekornrud/> (Hentet: 31. mars 2016).
- JM NORGE AS 2015b. *Fremdrift*. Tilgjengelig fra: <http://www.jm.no/boliger/finn-din-bolig/akershus/oppegard/myrvoll/ekornrud/fremdrift/> (Hentet: 31. mars 2016).
- KVU-STABEN 2015. *KVU Oslo-navet - Konseptvalgutredning for økt transportkapasitet inn mot og gjennom Oslo*. Oslo: Jernbaneverket, Statens vegvesen og Ruter AS.
- LINDAHL, M. 2001. *Track geometry for high-speed railways*. Masteroppgave. Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm.
- MILDE, E. D. 2015. *Separate godsbaner - Hva er det og hvordan fungerer det?* Prosjektoppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- NSB 2016. *Rutekart, lokaltog Østlandet*. Tilgjengelig fra: <https://www.nsb.no/reisemal/kart-over-togstasjoner-i-norge> (Hentet: 11. mars 2016).
- OHYAMA, T. 1991. *Tribological studies on adhesion phenomena between wheel and rail at high speeds*, *Wear*, 144(1), s. 263-275.
- OLSSON, N. 2014. *Praktisk rapportskrivning*. Bergen: Fagbokforlaget.
- OPPEGÅRD KOMMUNE 2011. *Kommuneplan 2011 - 2022*. Oppegård kommune.
- OPPEGÅRD KOMMUNE 2016. *Planinnsyn*. Tilgjengelig fra: <http://tema.webatlas.no/Oppeg%C3%A5rd/planinnsyn> (Hentet: 28. mars 2016).
- OSLO KOMMUNE 2013. *KDP-18*. Oslo: Oslo kommune.
- OSLO KOMMUNE 2015a. *Kommuneplan 2015 - Oslo mot 2030 - Del 1*. Oslo: Oslo kommune.
- OSLO KOMMUNE 2015b. *Kommuneplan 2015 - Oslo mot 2030 - Del 2*. Oslo: Oslo kommune.
- OSLO KOMMUNE 2016a. *Planinnsyn*. Tilgjengelig fra: <http://od2.pbe.oslo.kommune.no/kart/> (Hentet: 15. mars 2016).
- OSLO KOMMUNE 2016b. *Statistikkbanken*. Tilgjengelig fra: <http://statistikkbanken.oslo.kommune.no/webview/index.jsp?catalog=http%3A%2F%2Fstatistikkbanken.oslo.kommune.no%3A80%2Fobj%2FfCatalog%2FCatalog48&submode=catalog&mode=documentation&top=yes> (Hentet: 14. mars 2016).
- PACHL, J. 2002. *Railway operation and control*. 2. utg. Mountlake Terrace: VTD Rail Publishing.
-

-
- PROFILLIDIS, V. A. 2014. *Railway management and engineering* 4. utg. Surrey: Ashgate Publishing Limited.
- SKARSÆTERHAGEN, S. 2015a. *Kapasitet dobbeltspor*. Forelesning PK6055 Punktlighet og kapasitet. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- SKARSÆTERHAGEN, S. 2015b. *Stasjonskapasitet*. Forelesning PK6055 Punktlighet og kapasitet. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- SKOGLUND, K. A. 2011. *Sporgeometri*. Undervisningsnotat i BA6012 Grunnleggende jernbaneteknikk. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.
- STATISTISK SENTRALBYRÅ 2014. *Tabell: 10213: Framskrevet folkemengde etter kjønn og alder, i 9 alternativer (K) (B)*. Tilgjengelig fra:
<https://www.ssb.no/statistikkbanken/SelectVarVal/Define.asp?MainTable=FolkFramT2&KortNavnWeb=folkfram&PLanguage=0&checked=true> (Hentet: 14. mars 2016).
- STATISTISK SENTRALBYRÅ 2016. *Tabell: 07459: Folkemengde, etter kjønn og ettårig alder. 1. januar (K)* Tilgjengelig fra:
<https://www.ssb.no/statistikkbanken/SelectVarVal/Define.asp?MainTable=NY3026&KortNavnWeb=folkemengde&PLanguage=0&checked=true> (Hentet: 14. mars 2016).
- TROCHE, G. 2005. *High-speed rail freight - Sub report in Efficient train system for freight transport*. Report 0512. Stockholm: Kungliga Tekniska högskolan.

Vedlegg 1: Oppgavetekst**MASTEROPPGAVE**

(BA6093 Jernbane, hovedprofil bane/trafikk masteroppgave)

VÅREN 2016

for

Erik Due Milde**Sporgeometrisk utforming av separat godsbane til Alnabru godsterminal****BAKGRUNN**

Konsekvensutredning for godsforbindelse til Alnabru godsterminal anbefaler en separat godsbane mellom Alnabru og Kolbotn, eventuelt med avgreining lengre sør på Østfoldbanen. For at godstrafikken skal kunne benytte Follobanen om natten er det anbefalt at det blir etablert en kobling mellom den separate godsbanen og Follobanen. Et absolutt krav for linjeføringen i konsekvensutredningen er at den skal kunne håndtere 750 meter lange godstog og/eller 1500 tonn tunge tog. Det eksisterer en rekke planer for fortetting av bebyggelse og ny infrastruktur i nærheten av det anbefalte alternativet, samt planer for økning av øvrig togtrafikk på tilknyttede baner.

OPPGAVE**Beskrivelse av oppgaven**

Det vil bli utarbeidet alternativer for godsbane mellom Alnabru godsterminal og Kolbotn eller lengre sør på Østfoldbanen. Alternativene vil bli utarbeidet med utgangspunkt i anbefalt alternativ for konsekvensutredning for godsforbindelse til Alnabru. Hovedfokuset vil være alternativsøk og utforming av avgreininger fra Alnabru, Follobanen og Østfoldbanen.

Sporgeometrisk utforming for 750 meter lange og/eller 1500 tonn tunge tog vil bli spesielt vektlagt, da det er et absolutt krav i konsekvensutredningen for godsforbindelse til Alnabru godsterminal. I oppgaven vil det bli presentert litt teori om sporgeometri, samt krav og regler for sporgeometri. Ut i fra dette vil det bli utført beregninger som vil bli presentert i oppgaven. Dimensjonerende sporgeometri vil deretter bli fastsatt på grunnlag av krav og regler, erfaringer fra andre separate godsbaner og beregningene.

Oppgaven vil presentere eksisterende situasjon og fremtidige planer for jernbanenettet og parter som kan bli berørt. Deretter vil vurderingskriteriene bli presentert. Det vil bli gitt en beskrivelse av prosjekterte alternativer. Alternativene vil bli vurdert i henhold vurderingskriteriene. Ut i fra vurderingen av alternativer vil det bli gitt en anbefaling, som kan gi innspill til endelig linjeføring for en godsbane mellom Alnabru og Kolbotn/Østfoldbanen.

Målsetting og hensikt

Målsettingen for oppgaven er utarbeide og vurdere alternativer for separat godsbane mellom Alnabru godsterminal og Østfoldbanen.

Hensikten med oppgaven er å anbefale et alternativ som kan gi innspill til endelige linjeføring.

Deloppgaver og forskningsspørsmål

En av deloppgavene til oppgaven er å prosjektere sporgeometrien for alternativer mellom Alnabru godsterminal og Østfoldbanen.

Sporgeometrien vil bli prosjektert etter fastsatt dimensjonerende sporgeometri for 750 meter lange/og eller 1500 tonn tunge godstog. Fastsettelse av dimensjonerende sporgeometri er en annen deloppgave.

I tillegg til å prosjektere sporgeometrien skal oppgaven ta hensyn til berørte parter og fremtidige planer. For å dokumentere dette vil alternativene blir vurdert etter følgende kriterier:

- Sporgeometrisk utforming
- Tilpasning til lokale forhold
- Tilpasning til fremtidige planer
- Tilpasning til fremtidig togtrafikk

GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidingen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskriving ved prosjektarbeid og masteroppgave befinner seg på <http://www.ntnu.no/bat/studier/oppgaver>.

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Masteroppgaven regnes ikke som ferdig levert før kandidaten har levert innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i Sentralbygg II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.

Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til sonja.hammer@ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

Oppstart og innleveringsfrist er i henhold til informasjon i DAIM. Innleveringsfrist er 01.07.2016.

Faglærer ved instituttet: Førstemanuensis II Kjell Arne Skoglund

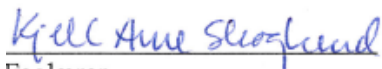
Veileder/kontaktperson hos ekstern samarbeidspartner: Sam Pawar, Multiconsult

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 23.06.2016

Underskrift

Kjell Arne Skoglund



Faglærer

Vedlegg 2: Beregning horisontalgeometri

Det har blitt beregnet horisontalgeometri for maksimal overhøyde på 150 og 180 mm. Beregningene er gjort i Microsoft Excel, og de påfølgende bildene er skjermklipp fra «kalkulatoren». For alle beregningene er det forutsatt maksimal manglende overhøyde. Sporvidden, 1435 mm, er rundet opp til 1500 mm, samme verdi som skinneavstand.

Inndata - $h_{maks} = 150$ mm

Parameter	Verdi	Enhet	Info
Vmaks	140	km/t	
Vmin	80	km/t	
g	10	m/s ²	
s	1500	mm	Sporvidde
Rmin	400	m	TRV = 250
hmaks	150	mm	
havsp		mm	Ift. på avsporingfare
Imaks,R≤600	100	mm	
Imaks,R>600	130	mm	
Pmaks	2,5 %		Normale krav
ΔDmaks, normal	35	mm/s	Normale krav
Ψmaks,,normal	0,33	mm/s ³	Normale krav
ΔDmaks, min	46	mm/s	Minste krav
Ψmaks,min	0,46	mm/s ³	Minste krav

Inndata - $h_{maks} = 180$ mm

Parameter	Verdi	Enhet	Info
Vmaks	140	km/t	
Vmin	80	km/t	
g	10	m/s ²	
s	1500	mm	Sporvidde
Rmin	400	m	TRV = 250
hmaks	180	mm	
havsp		mm	Ift.å avsporingfare
Imaks,R≤600	100	mm	
Imaks,R>600	130	mm	
Pmaks	2,5 %		Normale krav
ΔDmaks, normal	35	mm/s	Normale krav
Ψmaks,,normal	0,33	mm/s ³	Normale krav
ΔDmaks, min	46	mm/s	Minste krav
Ψmaks,min	0,46	mm/s ³	Minste krav

Beregning minste kurveradius:

km/t	R(Imaks,R≤600)	R(Imaks,R>600)	Rmin	Rdim
	$R_{min} = \frac{v^2 \cdot s}{g(h_{maks} + I_{maks})}$			
80	296	265	296	400
90	375	335	375	400
100	463	413	463	463
110	560	500	560	560
120	667	595	595	595
130	782	699	699	699
140	907	810	810	810

Beregning overhøyde og overgangskurvens lengde $h_{maks} = 150$ mm – normale krav

R	h	E	I	L1	L2	j_u	L3	Ldim
	$h = \frac{v^2 \cdot s}{R \cdot g} - I_{maks}$	$E = h - \frac{v_{min}^2 \cdot s}{R \cdot g}$	$I = \frac{v_{maks}^2 \cdot s}{R \cdot g} - h$	$L_1 \geq \frac{h}{P_{maks}}$	$L_2 \geq v \cdot \frac{h}{\Delta D_{maks} Q}$	$j_u = \frac{I \cdot g}{s}$	$L_3 \geq v \cdot \frac{j_u}{\psi_{maks}}$	
810	150	59	130	60	167	0,87	41	167
820	147	56	130	59	163	0,87	41	163
830	143	54	130	57	159	0,87	41	159
840	140	52	130	56	156	0,87	41	156
850	137	50	130	55	152	0,87	41	152
860	134	48	130	54	149	0,87	41	149
870	131	46	130	52	145	0,87	41	145
880	128	44	130	51	142	0,87	41	142
890	125	42	130	50	139	0,87	41	139
900	122	40	130	49	136	0,87	41	136
910	119	38	130	48	133	0,87	41	133
920	117	36	130	47	130	0,87	41	130
930	114	34	130	46	127	0,87	41	127
940	111	33	130	45	124	0,87	41	124
950	109	31	130	44	121	0,87	41	121
960	106	29	130	43	118	0,87	41	118
970	104	28	130	42	115	0,87	41	115
980	101	26	130	41	113	0,87	41	113
990	99	24	130	40	110	0,87	41	110
1000	97	23	130	39	108	0,87	41	108
1010	95	21	130	38	105	0,87	41	105
1020	92	20	130	37	103	0,87	41	103
1030	90	18	130	36	100	0,87	41	100
1040	88	17	130	35	98	0,87	41	98
1050	86	16	130	34	96	0,87	41	96
1060	84	14	130	34	93	0,87	41	93
1070	82	13	130	33	91	0,87	41	91
1080	80	11	130	32	89	0,87	41	89
1090	78	10	130	31	87	0,87	41	87
1100	76	9	130	30	85	0,87	41	85
1110	74	8	130	30	83	0,87	41	83
1120	73	6	130	29	81	0,87	41	81
1130	71	5	130	28	79	0,87	41	79
1140	69	4	130	28	77	0,87	41	77
1150	67	3	130	27	75	0,87	41	75
1160	66	2	130	26	73	0,87	41	73
1170	64	1	130	26	71	0,87	41	71
1180	62	-1	130	25	69	0,87	41	69
1190	61	-2	130	24	67	0,87	41	67
1200	59	-3	130	24	66	0,87	41	66
1210	57	-4	130	23	64	0,87	41	64
1220	56	-5	130	22	62	0,87	41	62
1230	54	-6	130	22	60	0,87	41	60
1240	53	-7	130	21	59	0,87	41	59
1250	51	-8	130	21	57	0,87	41	57
1260	50	-9	130	20	56	0,87	41	56
1270	49	-10	130	19	54	0,87	41	54
1280	47	-11	130	19	52	0,87	41	52
1290	46	-12	130	18	51	0,87	41	51
1300	45	-12	130	18	49	0,87	41	49
1310	43	-13	130	17	48	0,87	41	48
1320	42	-14	130	17	47	0,87	41	47
1330	41	-15	130	16	45	0,87	41	45
1340	39	-16	130	16	44	0,87	41	44
1350	38	-17	130	15	42	0,87	41	42
1360	37	-18	130	15	41	0,87	41	41
1370	36	-18	130	14	40	0,87	41	41
1380	34	-19	130	14	38	0,87	41	41
1390	33	-20	130	13	37	0,87	41	41
1400	32	-21	130	13	36	0,87	41	41

Beregning overhøyde og overgangskurvens lengde $h_{maks} = 150$ mm – minstekrav

R	h	E	I	L1	L2	j_u	L3	Ldim
	$h = \frac{v^2 \cdot s}{R \cdot g} - I_{maks}$	$E = h - \frac{v_{min}^2 \cdot s}{R \cdot g}$	$I = \frac{v_{maks}^2 \cdot s}{R \cdot g} - h$	$L_1 \geq \frac{h}{P_{maks}}$	$L_2 \geq v \cdot \frac{h}{\Delta D_{maks} \cdot g}$	$j_u = \frac{I \cdot g}{s}$	$L_3 \geq v \cdot \frac{j_u}{\psi_{maks}}$	
810	150	59	130	60	127	0,87	29	127
820	147	56	130	59	124	0,87	29	124
830	143	54	130	57	121	0,87	29	121
840	140	52	130	56	118	0,87	29	118
850	137	50	130	55	116	0,87	29	116
860	134	48	130	54	113	0,87	29	113
870	131	46	130	52	111	0,87	29	111
880	128	44	130	51	108	0,87	29	108
890	125	42	130	50	106	0,87	29	106
900	122	40	130	49	103	0,87	29	103
910	119	38	130	48	101	0,87	29	101
920	117	36	130	47	99	0,87	29	99
930	114	34	130	46	96	0,87	29	96
940	111	33	130	45	94	0,87	29	94
950	109	31	130	44	92	0,87	29	92
960	106	29	130	43	90	0,87	29	90
970	104	28	130	42	88	0,87	29	88
980	101	26	130	41	86	0,87	29	86
990	99	24	130	40	84	0,87	29	84
1000	97	23	130	39	82	0,87	29	82
1010	95	21	130	38	80	0,87	29	80
1020	92	20	130	37	78	0,87	29	78
1030	90	18	130	36	76	0,87	29	76
1040	88	17	130	35	75	0,87	29	75
1050	86	16	130	34	73	0,87	29	73
1060	84	14	130	34	71	0,87	29	71
1070	82	13	130	33	69	0,87	29	69
1080	80	11	130	32	68	0,87	29	68
1090	78	10	130	31	66	0,87	29	66
1100	76	9	130	30	64	0,87	29	64
1110	74	8	130	30	63	0,87	29	63
1120	73	6	130	29	61	0,87	29	61
1130	71	5	130	28	60	0,87	29	60
1140	69	4	130	28	58	0,87	29	58
1150	67	3	130	27	57	0,87	29	57
1160	66	2	130	26	55	0,87	29	55
1170	64	1	130	26	54	0,87	29	54
1180	62	-1	130	25	53	0,87	29	53
1190	61	-2	130	24	51	0,87	29	51
1200	59	-3	130	24	50	0,87	29	50
1210	57	-4	130	23	49	0,87	29	49
1220	56	-5	130	22	47	0,87	29	47
1230	54	-6	130	22	46	0,87	29	46
1240	53	-7	130	21	45	0,87	29	45
1250	51	-8	130	21	44	0,87	29	44
1260	50	-9	130	20	42	0,87	29	42
1270	49	-10	130	19	41	0,87	29	41
1280	47	-11	130	19	40	0,87	29	40
1290	46	-12	130	18	39	0,87	29	39
1300	45	-12	130	18	38	0,87	29	38
1310	43	-13	130	17	36	0,87	29	36
1320	42	-14	130	17	35	0,87	29	35
1330	41	-15	130	16	34	0,87	29	34
1340	39	-16	130	16	33	0,87	29	33
1350	38	-17	130	15	32	0,87	29	32
1360	37	-18	130	15	31	0,87	29	31
1370	36	-18	130	14	30	0,87	29	30
1380	34	-19	130	14	29	0,87	29	29
1390	33	-20	130	13	28	0,87	29	29
1400	32	-21	130	13	27	0,87	29	29

Beregning overhøyde og overgangskurvens lengde $h_{maks} = 180$ mm – normale krav

R	h	E	I	L1	L2	ju	L3	Ldim
	$h = \frac{v^2 \cdot s}{R \cdot g} - I_{maks}$	$E = h - \frac{v_{maks}^2 \cdot s}{R \cdot g}$	$I = \frac{v_{maks}^2 \cdot s}{R \cdot g} - h$	$L_1 \geq \frac{h}{P_{maks}}$	$L_2 \geq v \cdot \frac{h}{\Delta D_{maks} \cdot 0}$	$j_u = \frac{l \cdot g}{s}$	$L_3 \geq v \cdot \frac{j_u}{\psi_{maks}}$	
732	180	79	130	72	200	0,87	41	200
740	177	77	130	71	196	0,87	41	196
750	172	74	130	69	192	0,87	41	192
760	168	71	130	67	187	0,87	41	187
770	165	68	130	66	183	0,87	41	183
780	161	66	130	64	179	0,87	41	179
790	157	63	130	63	175	0,87	41	175
800	154	61	130	61	171	0,87	41	171
810	150	59	130	60	167	0,87	41	167
820	147	56	130	59	163	0,87	41	163
825	145	55	130	58	161	0,87	41	161
840	140	52	130	56	156	0,87	41	156
850	137	50	130	55	152	0,87	41	152
860	134	48	130	54	149	0,87	41	149
870	131	46	130	52	145	0,87	41	145
880	128	44	130	51	142	0,87	41	142
890	125	42	130	50	139	0,87	41	139
900	122	40	130	49	136	0,87	41	136
910	119	38	130	48	133	0,87	41	133
920	117	36	130	47	130	0,87	41	130
930	114	34	130	46	127	0,87	41	127
940	111	33	130	45	124	0,87	41	124
950	109	31	130	44	121	0,87	41	121
960	106	29	130	43	118	0,87	41	118
970	104	28	130	42	115	0,87	41	115
980	101	26	130	41	113	0,87	41	113
990	99	24	130	40	110	0,87	41	110
1000	97	23	130	39	108	0,87	41	108
1010	95	21	130	38	105	0,87	41	105
1020	92	20	130	37	103	0,87	41	103
1030	90	18	130	36	100	0,87	41	100
1040	88	17	130	35	98	0,87	41	98
1050	86	16	130	34	96	0,87	41	96
1060	84	14	130	34	93	0,87	41	93
1070	82	13	130	33	91	0,87	41	91
1080	80	11	130	32	89	0,87	41	89
1090	78	10	130	31	87	0,87	41	87
1100	76	9	130	30	85	0,87	41	85
1110	74	8	130	30	83	0,87	41	83
1120	73	6	130	29	81	0,87	41	81
1130	71	5	130	28	79	0,87	41	79
1140	69	4	130	28	77	0,87	41	77
1150	67	3	130	27	75	0,87	41	75
1160	66	2	130	26	73	0,87	41	73
1170	64	1	130	26	71	0,87	41	71
1180	62	-1	130	25	69	0,87	41	69
1190	61	-2	130	24	67	0,87	41	67
1200	59	-3	130	24	66	0,87	41	66
1210	57	-4	130	23	64	0,87	41	64
1220	56	-5	130	22	62	0,87	41	62
1230	54	-6	130	22	60	0,87	41	60
1240	53	-7	130	21	59	0,87	41	59
1250	51	-8	130	21	57	0,87	41	57
1260	50	-9	130	20	56	0,87	41	56
1270	49	-10	130	19	54	0,87	41	54
1280	47	-11	130	19	52	0,87	41	52
1290	46	-12	130	18	51	0,87	41	51
1300	45	-12	130	18	49	0,87	41	49
1310	43	-13	130	17	48	0,87	41	48
1320	42	-14	130	17	47	0,87	41	47
1330	41	-15	130	16	45	0,87	41	45
1340	39	-16	130	16	44	0,87	41	44
1350	38	-17	130	15	42	0,87	41	42
1360	37	-18	130	15	41	0,87	41	41
1370	36	-18	130	14	40	0,87	41	41
1380	34	-19	130	14	38	0,87	41	41
1390	33	-20	130	13	37	0,87	41	41
1400	32	-21	130	13	36	0,87	41	41

Beregning overhøyde og overgangskurvens lengde $h_{maks} = 180 \text{ mm}$ – minstekrav

R	h	E	I	L1	L2	ju	L3	Ldim
	$h = \frac{v^2 \cdot s}{R \cdot g} - I_{maks}$	$E = h - \frac{v_{min}^2 \cdot s}{R \cdot g}$	$I = \frac{v_{maks}^2 \cdot s}{R \cdot g} - h$	$L_1 \geq \frac{h}{P_{maks}}$	$L_2 \geq v \cdot \frac{h}{\Delta D_{maks}}$	$j_u = \frac{I \cdot g}{s}$	$L_3 \geq v \cdot \frac{j_u}{\psi_{maks}}$	
732	180	79	130	72	152	0,87	29	152
740	177	77	130	71	149	0,87	29	149
750	172	74	130	69	146	0,87	29	146
760	168	71	130	67	142	0,87	29	142
770	165	68	130	66	139	0,87	29	139
780	161	66	130	64	136	0,87	29	136
790	157	63	130	63	133	0,87	29	133
800	154	61	130	61	130	0,87	29	130
810	150	59	130	60	127	0,87	29	127
820	147	56	130	59	124	0,87	29	124
825	145	55	130	58	123	0,87	29	123
840	140	52	130	56	118	0,87	29	118
850	137	50	130	55	116	0,87	29	116
860	134	48	130	54	113	0,87	29	113
870	131	46	130	52	111	0,87	29	111
880	128	44	130	51	108	0,87	29	108
890	125	42	130	50	106	0,87	29	106
900	122	40	130	49	103	0,87	29	103
910	119	38	130	48	101	0,87	29	101
920	117	36	130	47	99	0,87	29	99
930	114	34	130	46	96	0,87	29	96
940	111	33	130	45	94	0,87	29	94
950	109	31	130	44	92	0,87	29	92
960	106	29	130	43	90	0,87	29	90
970	104	28	130	42	88	0,87	29	88
980	101	26	130	41	86	0,87	29	86
990	99	24	130	40	84	0,87	29	84
1000	97	23	130	39	82	0,87	29	82
1010	95	21	130	38	80	0,87	29	80
1020	92	20	130	37	78	0,87	29	78
1030	90	18	130	36	76	0,87	29	76
1040	88	17	130	35	75	0,87	29	75
1050	86	16	130	34	73	0,87	29	73
1060	84	14	130	34	71	0,87	29	71
1070	82	13	130	33	69	0,87	29	69
1080	80	11	130	32	68	0,87	29	68
1090	78	10	130	31	66	0,87	29	66
1100	76	9	130	30	64	0,87	29	64
1110	74	8	130	30	63	0,87	29	63
1120	73	6	130	29	61	0,87	29	61
1130	71	5	130	28	60	0,87	29	60
1140	69	4	130	28	58	0,87	29	58
1150	67	3	130	27	57	0,87	29	57
1160	66	2	130	26	55	0,87	29	55
1170	64	1	130	26	54	0,87	29	54
1180	62	-1	130	25	53	0,87	29	53
1190	61	-2	130	24	51	0,87	29	51
1200	59	-3	130	24	50	0,87	29	50
1210	57	-4	130	23	49	0,87	29	49
1220	56	-5	130	22	47	0,87	29	47
1230	54	-6	130	22	46	0,87	29	46
1240	53	-7	130	21	45	0,87	29	45
1250	51	-8	130	21	44	0,87	29	44
1260	50	-9	130	20	42	0,87	29	42
1270	49	-10	130	19	41	0,87	29	41
1280	47	-11	130	19	40	0,87	29	40
1290	46	-12	130	18	39	0,87	29	39
1300	45	-12	130	18	38	0,87	29	38
1310	43	-13	130	17	36	0,87	29	36
1320	42	-14	130	17	35	0,87	29	35
1330	41	-15	130	16	34	0,87	29	34
1340	39	-16	130	16	33	0,87	29	33
1350	38	-17	130	15	32	0,87	29	32
1360	37	-18	130	15	31	0,87	29	31
1370	36	-18	130	14	30	0,87	29	30
1380	34	-19	130	14	29	0,87	29	29
1390	33	-20	130	13	28	0,87	29	29
1400	32	-21	130	13	27	0,87	29	29

Vedlegg 3: Beregning av stigning

For å beregne maksimal stigning har kandidaten utarbeidet en «kalkulator» i Microsoft Excel.

Det er utført beregninger for lokomotivene EL14, Bombardier TRAXX F140 AC og Siemens EG 3100 med togvekt på 1000, 1100, 1200, 1300, 1400 og 1500 tonn.

Beregningene er gjort med adhesjonskoeffisient fra «UIC-formelen», «Curtis-Kniffler» og togprodusent. Det har blitt benyttet 1 km/t som intervall ved beregninger avhengig av hastighet.

For å forenkle beregningene har kandidaten sett bort i fra kurvemotstanden. Det er forutsatt at luftmotstanden i tunnel er neglisjerbar på grunn stort tunneltverrsnitt og luftsjakter, noe som reduserer luftmotstanden.

Ved beregning av akselerasjonsmotstanden er det først avlest stigning fra grafer for maksimal stigning. I disse beregningene er massefaktoren til lok og vogner tatt hensyn til ved å velge øvre empiriske verdier som er oppgitt av Holme (1994).

De påfølgende figurene er skjermskudd fra kalkulatoren ved beregninger for 1500 tonn tunge tog.

Inndata og mellomregninger:

Inndata infrastruktur

Parameter	Verdi	Enhet	Info
s	0	promille	
Rmin	0	m	
g	10	m/s ²	

Inndata tog

Parameter	Verdi	Enhet	Info
mtog	1500	t	
Ptog	15000	kN	
pl	1,3		massefaktor lok
pv	1,1		massefaktor vogner

Inndata lok 1 - EL14

Parameter	Verdi	Enhet	Info
mlok	105	t	
Plok	1050	kN	
E lok	4500	kW	
Fmaks	350	kN	
ptog	1,114		$\rho = \frac{\rho_l m_l + \rho_v m_v}{m_l + m_v}$
Vmax	120	km/t	

Inndata lok 2 - Bombardier TRAXX F140 AC2

Parameter	Verdi	Enhet	Info
mlok	83	t	
Plok	830	kN	
E lok	5600	kW	
Fmaks	300	kN	
ptog	1,11107		$\rho = \frac{\rho_l m_l + \rho_v m_v}{m_l + m_v}$
Vmax	140	km/t	

Inndata lok 3 - Siemens EG 3100

Parameter	Verdi	Enhet	Info
mlok	132	t	
Plok	1320	kN	
E lok	6500	kW	
Fmaks	400	kN	
ptog	1,1176		$\rho = \frac{\rho_l m_l + \rho_v m_v}{m_l + m_v}$
Vmax	140	km/t	

Beregning av dimensjonerende trekkraft

km/h	Trekkraft begrenset av motorkapasitet	Trekkraft (UIC)		
		adhesjonskoeffisient	Trekkraft begrenset av adhesjon	Dimensjonerende trekkraft
	$F = \frac{E}{v}$	$\mu = 0,139 + \frac{4,48}{v+34,2}$	$F = \mu \cdot R_{lok}$	$F \leq \mu \cdot R_{lok}$
0	#DIV/0!	0,230056911	241,5597561	241,5597561
1	18273,6	0,230056911	241,5597561	241,5597561
2	9136,8	0,230056911	241,5597561	241,5597561
3	6091,2	0,230056911	241,5597561	241,5597561
4	4568,4	0,230056911	241,5597561	241,5597561
5	3654,72	0,230056911	241,5597561	241,5597561
6	3045,6	0,230056911	241,5597561	241,5597561
7	2610,514286	0,230056911	241,5597561	241,5597561
8	2284,2	0,230056911	241,5597561	241,5597561
9	2030,4	0,230056911	241,5597561	241,5597561
10	1827,36	0,230056911	241,5597561	241,5597561
11	1661,236364	0,230056911	241,5597561	241,5597561
12	1522,8	0,230056911	241,5597561	241,5597561
13	1405,661538	0,230056911	241,5597561	241,5597561
14	1305,257143	0,230056911	241,5597561	241,5597561
15	1218,24	0,230056911	241,5597561	241,5597561
16	1142,1	0,228243028	239,6551793	239,6551793
17	1074,917647	0,2265	237,825	237,825
18	1015,2	0,224823755	236,0649425	236,0649425
19	961,7684211	0,223210526	234,3710526	234,3710526
20	913,68	0,221656827	232,7396679	232,7396679
21	870,1714286	0,22015942	231,1673913	231,1673913
22	830,6181818	0,218715302	229,6510676	229,6510676
23	794,5043478	0,217321678	228,1877622	228,1877622
24	761,4	0,215975945	226,7747423	226,7747423
25	730,944	0,214675676	225,4094595	225,4094595
26	702,8307692	0,213418605	224,0895349	224,0895349
27	676,8	0,212202614	222,8127451	222,8127451
28	652,6285714	0,211025723	221,5770096	221,5770096
29	630,1241379	0,209886076	220,3803797	220,3803797
30	609,12	0,208781931	219,221028	219,221028
31	589,4709677	0,207711656	218,0972393	218,0972393
32	571,05	0,206673716	217,0074018	217,0074018
33	553,7454545	0,205666667	215,95	215,95
34	537,4588235	0,20468915	214,923607	214,923607
35	522,1028571	0,203739884	213,9268786	213,9268786
36	507,6	0,202817664	212,958547	212,958547
37	493,8810811	0,201921348	212,0174157	212,0174157
38	480,8842105	0,201049861	211,1023546	211,1023546
39	468,5538462	0,200202186	210,2122951	210,2122951
40	456,84	0,199377358	209,3462264	209,3462264
41	445,697561	0,198574468	208,5031915	208,5031915
42	435,0857143	0,197792651	207,6822835	207,6822835
43	424,9674419	0,197031088	206,8826425	206,8826425
44	415,3090909	0,196289003	206,1034527	206,1034527
45	406,08	0,195565657	205,3439394	205,3439394
46	397,2521739	0,194860349	204,6033666	204,6033666
47	388,8	0,194172414	203,8810345	203,8810345
48	380,7	0,193501217	203,1762774	203,1762774
49	372,9306122	0,192846154	202,4884615	202,4884615
50	365,472	0,192206651	201,8169834	201,8169834

km/h	Trekraft begrenset av motorkapasitet	Trekraft (produsent)		
		adhesjonskoeffisient	Trekraft begrenset av adhesjon	Dimensjonerende trekkraft
	$F = \frac{E}{v}$	$\mu = \frac{F_{maks}}{P_{lok}}$	$F = \mu \cdot P_{lok}$	$F \leq \mu \cdot P_{lok}$
0	#DIV/0!	0,333333333	350	350
1	16200	0,333333333	350	350
2	8100	0,333333333	350	350
3	5400	0,333333333	350	350
4	4050	0,333333333	350	350
5	3240	0,333333333	350	350
6	2700	0,333333333	350	350
7	2314,285714	0,333333333	350	350
8	2025	0,333333333	350	350
9	1800	0,333333333	350	350
10	1620	0,333333333	350	350
11	1472,727273	0,333333333	350	350
12	1350	0,333333333	350	350
13	1246,153846	0,333333333	350	350
14	1157,142857	0,333333333	350	350
15	1080	0,333333333	350	350
16	1012,5	0,333333333	350	350
17	952,9411765	0,333333333	350	350
18	900	0,333333333	350	350
19	852,6315789	0,333333333	350	350
20	810	0,333333333	350	350

km/h	Trekraft begrenset av motorkapasitet	Trekraft (Curtis-Kniffler)		
		adhesjonskoeffisient	Trekraft begrenset av adhesjon	Dimensjonerende trekkraft
	$F = \frac{E}{v}$	$\mu = 0,161 + \frac{7,5}{v+44}$	$F = \mu \cdot P_{lok}$	$F \leq \mu \cdot P_{lok}$
0	#DIV/0!	0,331454545	348,0272727	348,0272727
1	18273,6	0,327666667	344,05	344,05
2	9136,8	0,324043478	340,2456522	340,2456522
3	6091,2	0,320574468	336,6031915	336,6031915
4	4568,4	0,31725	333,1125	333,1125
5	3654,72	0,314061224	329,7642857	329,7642857
6	3045,6	0,311	326,55	326,55
7	2610,514286	0,308058824	323,4617647	323,4617647
8	2284,2	0,305230769	320,4923077	320,4923077
9	2030,4	0,302509434	317,6349057	317,6349057
10	1827,36	0,299888889	314,8833333	314,8833333
11	1661,236364	0,297363636	312,2318182	312,2318182
12	1522,8	0,294928571	309,675	309,675
13	1405,661538	0,292578947	307,2078947	307,2078947
14	1305,257143	0,290310345	304,8258621	304,8258621
15	1218,24	0,288118644	302,5245763	302,5245763
16	1142,1	0,286	300,3	300,3
17	1074,917647	0,28395082	298,1483607	298,1483607
18	1015,2	0,281967742	296,066129	296,066129
19	961,7684211	0,280047619	294,05	294,05
20	913,68	0,2781875	292,096875	292,096875

Beregning av spesifikk trekraft

km/h	Spesifikk trekraft		
	f, produsent	f, Curtis-Kniffler	f, UIC
	$f = \frac{F}{P_{tog}}$	$f = \frac{F}{P_{tog}}$	$f = \frac{F}{P_{tog}}$
0	16,33333333	23,20181818	16,10398374
1	16,33333333	22,93666667	16,10398374
2	16,33333333	22,68304348	16,10398374
3	16,33333333	22,44021277	16,10398374
4	16,33333333	22,2075	16,10398374
5	16,33333333	21,98428571	16,10398374
6	16,33333333	21,77	16,10398374
7	16,33333333	21,56411765	16,10398374
8	16,33333333	21,36615385	16,10398374
9	16,33333333	21,17566038	16,10398374
10	16,33333333	20,99222222	16,10398374
11	16,33333333	20,81545455	16,10398374
12	16,33333333	20,645	16,10398374
13	16,33333333	20,48052632	16,10398374
14	16,33333333	20,32172414	16,10398374
15	16,33333333	20,16830508	16,10398374
16	16,33333333	20,02	15,97701195
17	16,33333333	19,87655738	15,855
18	16,33333333	19,73774194	15,73766284
19	16,33333333	19,60333333	15,62473684
20	16,33333333	19,473125	15,51597786
21	16,33333333	19,34692308	15,41115942
22	16,33333333	19,22454545	15,31007117
23	16,33333333	19,1058209	15,21251748
24	16,33333333	18,99058824	15,11831615
25	16,33333333	18,87869565	15,0272973
26	16,33333333	18,77	14,93930233
27	16,33333333	18,6643662	14,85418301
28	16,33333333	18,56166667	14,77180064
29	16,33333333	18,46178082	14,69202532
30	16,33333333	18,36459459	14,6147352
31	16,33333333	18,27	14,53981595
32	16,33333333	18,17789474	14,46716012
33	16,33333333	18,08818182	14,39666667
34	16,33333333	18,00076923	14,32824047
35	16,33333333	17,91556962	14,26179191
36	16,33333333	17,8325	14,19723647
37	16,33333333	17,75148148	14,13449438
38	16,33333333	17,67243902	14,0734903
39	16,33333333	17,5953012	14,01415301
40	16,33333333	17,52	13,95641509
41	16,33333333	17,44647059	13,90021277
42	16,33333333	17,37465116	13,84548556
43	16,33333333	17,30448276	13,79217617
44	16,33333333	17,23590909	13,74023018
45	16,33333333	17,1688764	13,68959596

Beregning av spesifikk kjøremotstand

km/h	Spesifikk kjøremotstand			
	w_o	w_r	$w_s=s$	w
	$w_o = 2,2 + 3 \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2$	$w_r = \frac{650}{R_{min} - 60}$		$w = w_o + w_r + w_s$
0	2,2	0	0	2,2
1	2,2003	0	0	2,2003
2	2,2012	0	0	2,2012
3	2,2027	0	0	2,2027
4	2,2048	0	0	2,2048
5	2,2075	0	0	2,2075
6	2,2108	0	0	2,2108
7	2,2147	0	0	2,2147
8	2,2192	0	0	2,2192
9	2,2243	0	0	2,2243
10	2,23	0	0	2,23
11	2,2363	0	0	2,2363
12	2,2432	0	0	2,2432
13	2,2507	0	0	2,2507
14	2,2588	0	0	2,2588
15	2,2675	0	0	2,2675
16	2,2768	0	0	2,2768
17	2,2867	0	0	2,2867
18	2,2972	0	0	2,2972
19	2,3083	0	0	2,3083
20	2,32	0	0	2,32
21	2,3323	0	0	2,3323
22	2,3452	0	0	2,3452
23	2,3587	0	0	2,3587
24	2,3728	0	0	2,3728
25	2,3875	0	0	2,3875
26	2,4028	0	0	2,4028
27	2,4187	0	0	2,4187
28	2,4352	0	0	2,4352
29	2,4523	0	0	2,4523
30	2,47	0	0	2,47
31	2,4883	0	0	2,4883
32	2,5072	0	0	2,5072
33	2,5267	0	0	2,5267
34	2,5468	0	0	2,5468
35	2,5675	0	0	2,5675
36	2,5888	0	0	2,5888
37	2,6107	0	0	2,6107
38	2,6332	0	0	2,6332
39	2,6563	0	0	2,6563
40	2,68	0	0	2,68

Beregning av maksimal stigning

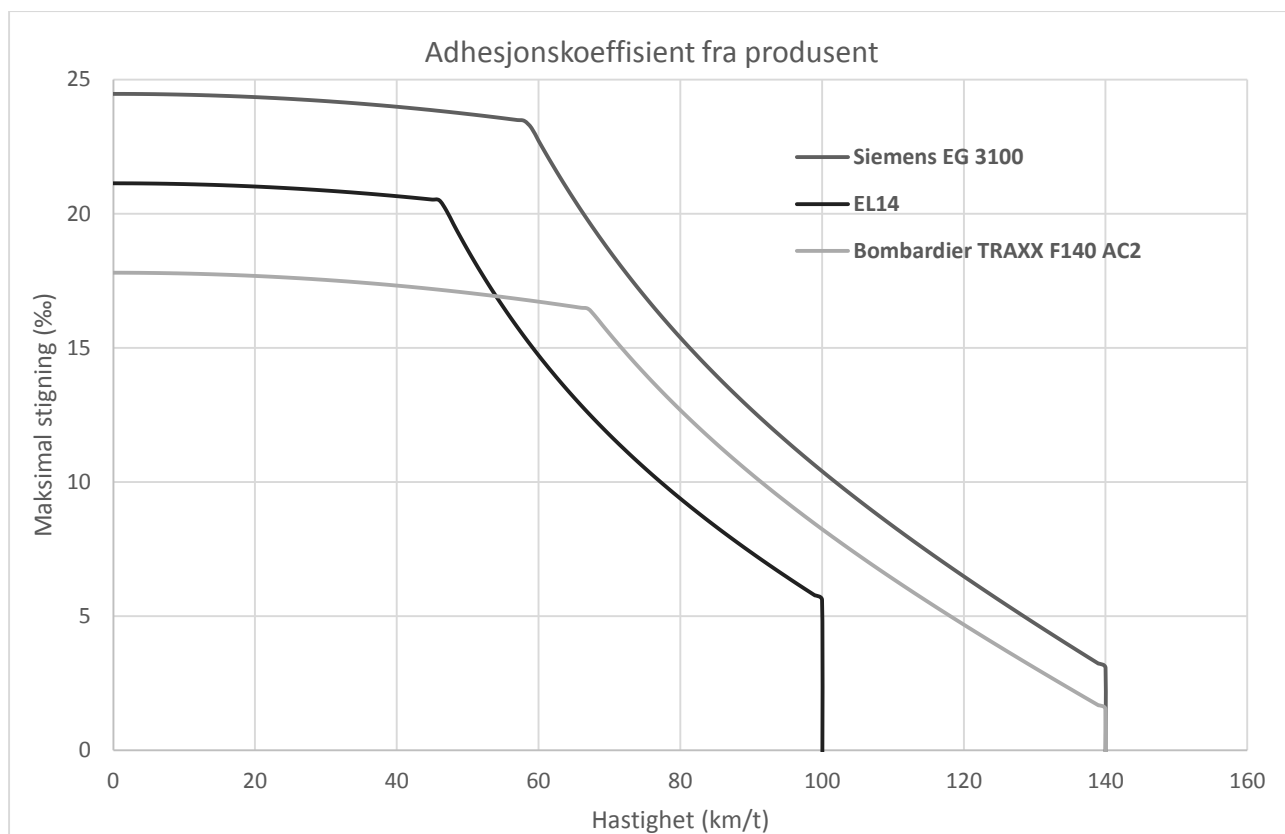
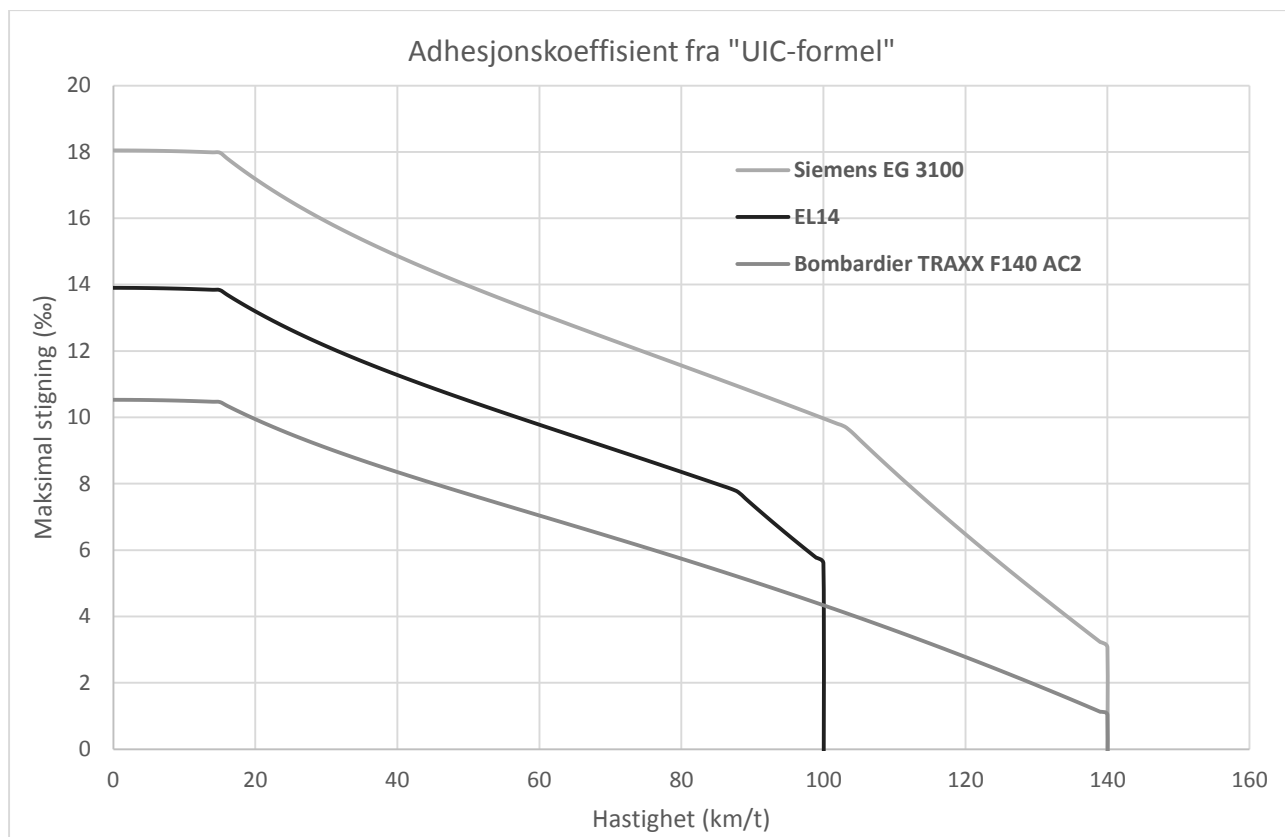
km/h	Maksimal stigning (s)		
	1 lok		
	s, produsent	s, Curtis-Kniffler	s, UIC
	$s = w_s = f - w_o - w_r$		
0	21,13333333	25,40181818	13,90398374
1	21,13303333	25,13696667	13,90368374
2	21,13213333	24,88424348	13,90278374
3	21,13063333	24,64291277	13,90128374
4	21,12853333	24,4123	13,89918374
5	21,12583333	24,19178571	13,89648374
6	21,12253333	23,9808	13,89318374
7	21,11863333	23,77881765	13,88928374
8	21,11413333	23,58535385	13,88478374
9	21,10903333	23,39996038	13,87968374
10	21,10333333	23,22222222	13,87398374
11	21,09703333	23,05175455	13,86768374
12	21,09013333	22,8882	13,86078374
13	21,08263333	22,73122632	13,85328374
14	21,07453333	22,58052414	13,84518374
15	21,06583333	22,43580508	13,83648374
16	21,05653333	22,2968	13,70021195
17	21,04663333	22,16325738	13,5683
18	21,03613333	22,03494194	13,44046284
19	21,02503333	21,91163333	13,31643684
20	21,01333333	21,793125	13,19597786
21	21,00103333	21,67922308	13,07885942
22	20,98813333	21,56974545	12,96487117
23	20,97463333	21,4645209	12,85381748
24	20,96053333	21,36338824	12,74551615
25	20,94583333	21,26619565	12,6397973
26	20,93053333	21,1728	12,53650233
27	20,91463333	21,0830662	12,43548301
28	20,89813333	20,99686667	12,33660064
29	20,88103333	20,91408082	12,23972532
30	20,86333333	20,83459459	12,1447352
31	20,84503333	20,7583	12,05151595
32	20,82613333	20,68509474	11,95996012
33	20,80663333	20,61488182	11,86996667
34	20,78653333	20,54756923	11,78144047
35	20,76583333	20,48306962	11,69429191
36	20,74453333	20,4213	11,60843647
37	20,72263333	20,36218148	11,52379438
38	20,70013333	20,30563902	11,4402903
39	20,67703333	20,2516012	11,35785301
40	20,65333333	20,2	11,27641509

Beregning akselerasjonsmotstand

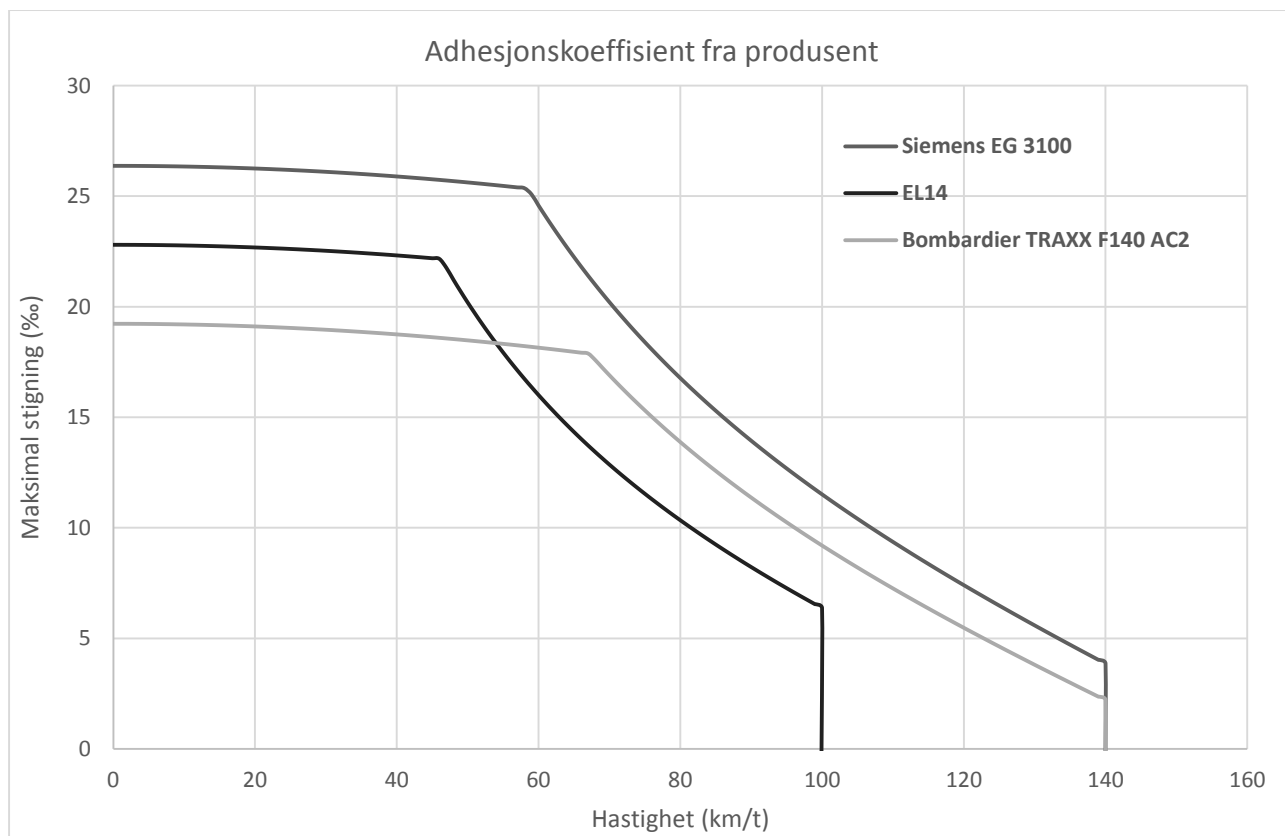
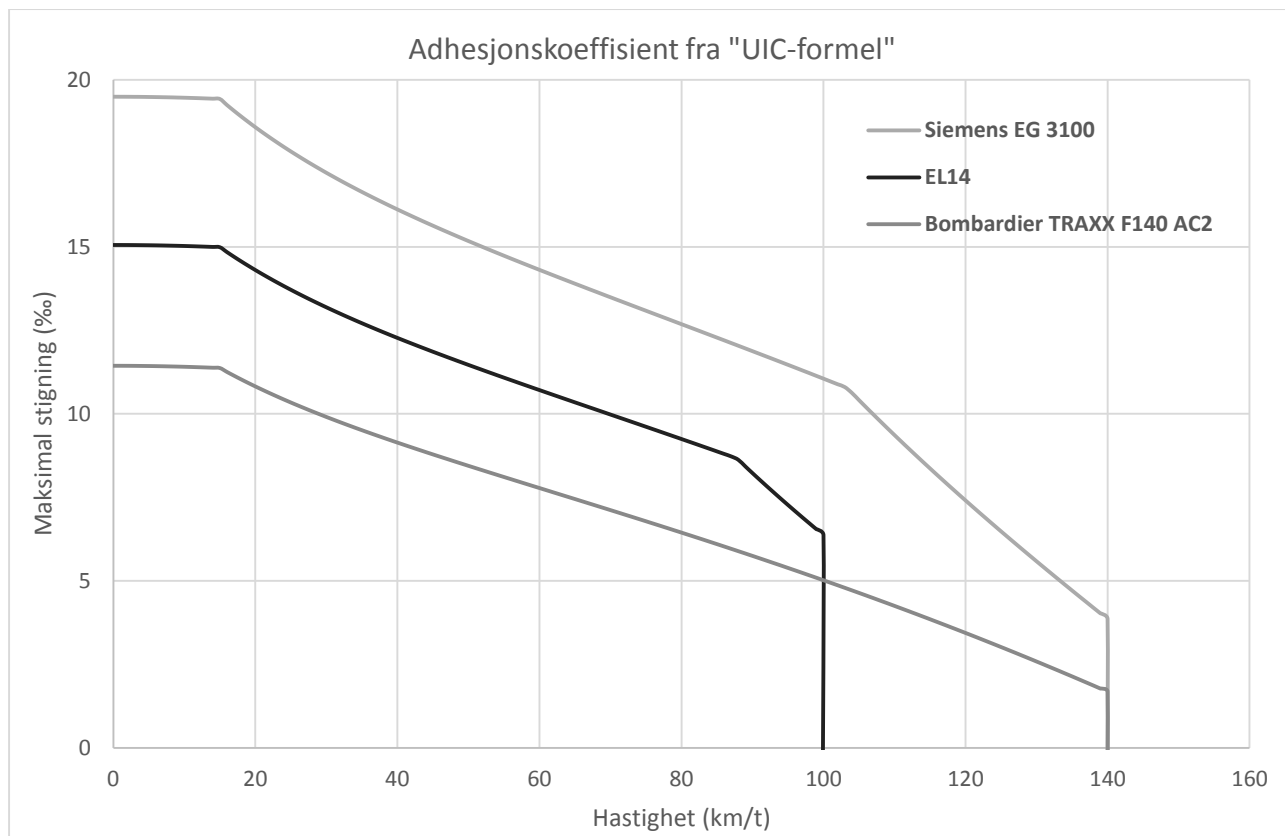
km/h	Spesifikk akselerasjonsmotstand i stigning (UIC)	
	1 lok	
	a (m/s ²)	w _a
	$a = (f - w_o - w_r - w_x) \cdot \frac{g}{\rho}$	$w_a = \frac{\rho}{g} a$
0	0,124811344	13,90398374
1	0,124808651	13,90368374
2	0,124800572	13,90278374
3	0,124787107	13,90128374
4	0,124768256	13,89918374
5	0,124744019	13,89648374
6	0,124714396	13,89318374
7	0,124679387	13,88928374
8	0,124638992	13,88478374
9	0,124593211	13,87968374
10	0,124542044	13,87398374
11	0,124485491	13,86768374
12	0,124423552	13,86078374
13	0,124356227	13,85328374
14	0,124283517	13,84518374
15	0,12420542	13,83648374
16	0,122982154	13,70021195
17	0,121798025	13,5683
18	0,120650474	13,44046284
19	0,119537135	13,31643684
20	0,118455816	13,19597786
21	0,117404483	13,07885942
22	0,116381249	12,96487117
23	0,115384358	12,85381748
24	0,114412174	12,74551615
25	0,113463171	12,6397973
26	0,112535928	12,53650233
27	0,111629111	12,43548301
28	0,110741478	12,33660064
29	0,109871861	12,23972532
30	0,109019167	12,1447352
31	0,108182369	12,05151595
32	0,107360504	11,95996012
33	0,106552663	11,86996667
34	0,105757993	11,78144047
35	0,10497569	11,69429191
36	0,104204995	11,60843647
37	0,103445192	11,52379438
38	0,102695604	11,4402903
39	0,101955593	11,35785301
40	0,101224552	11,27641509
41	0,10050191	11,19591277
42	0,099787124	11,11628556
43	0,099079678	11,03747617
44	0,098379086	10,95943018
45	0,097684883	10,88209596

Vedlegg 4: Resultater – beregning av stigning

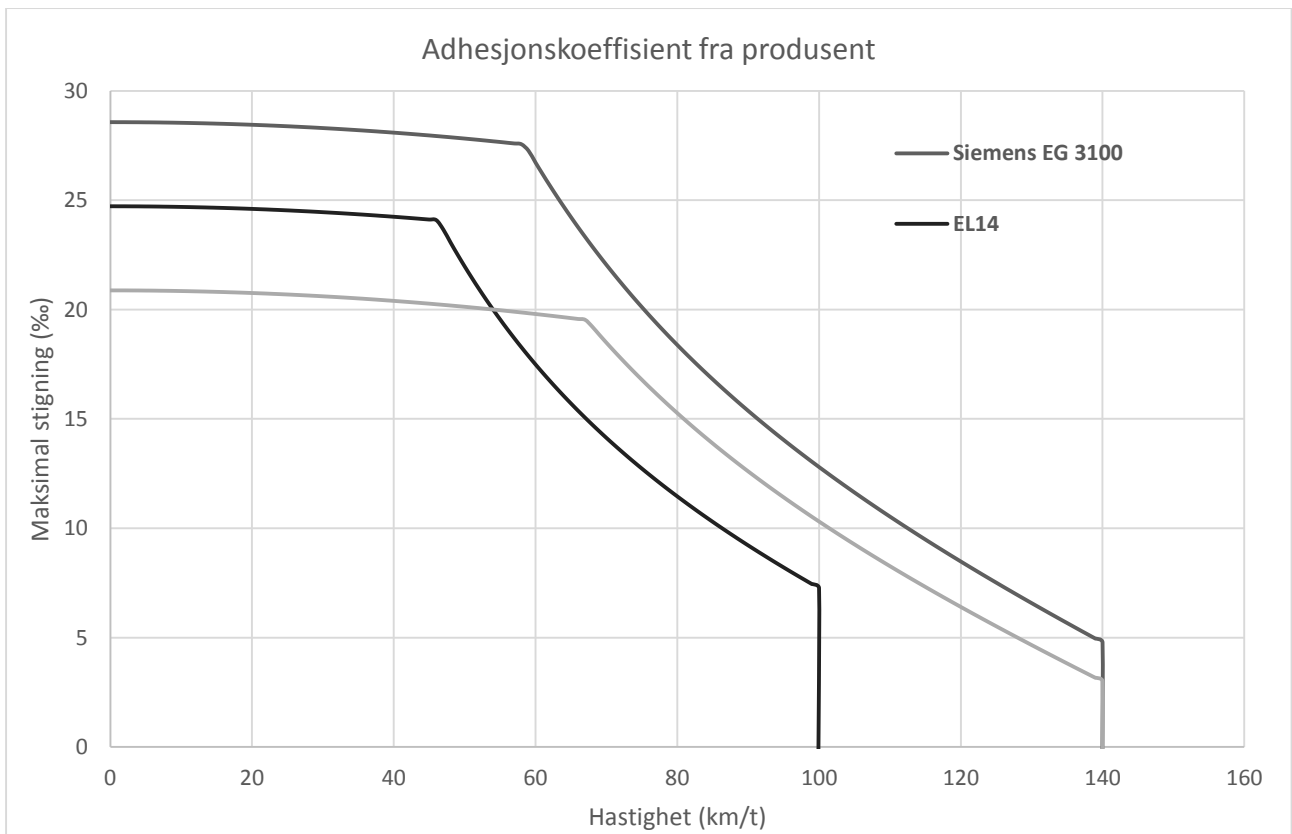
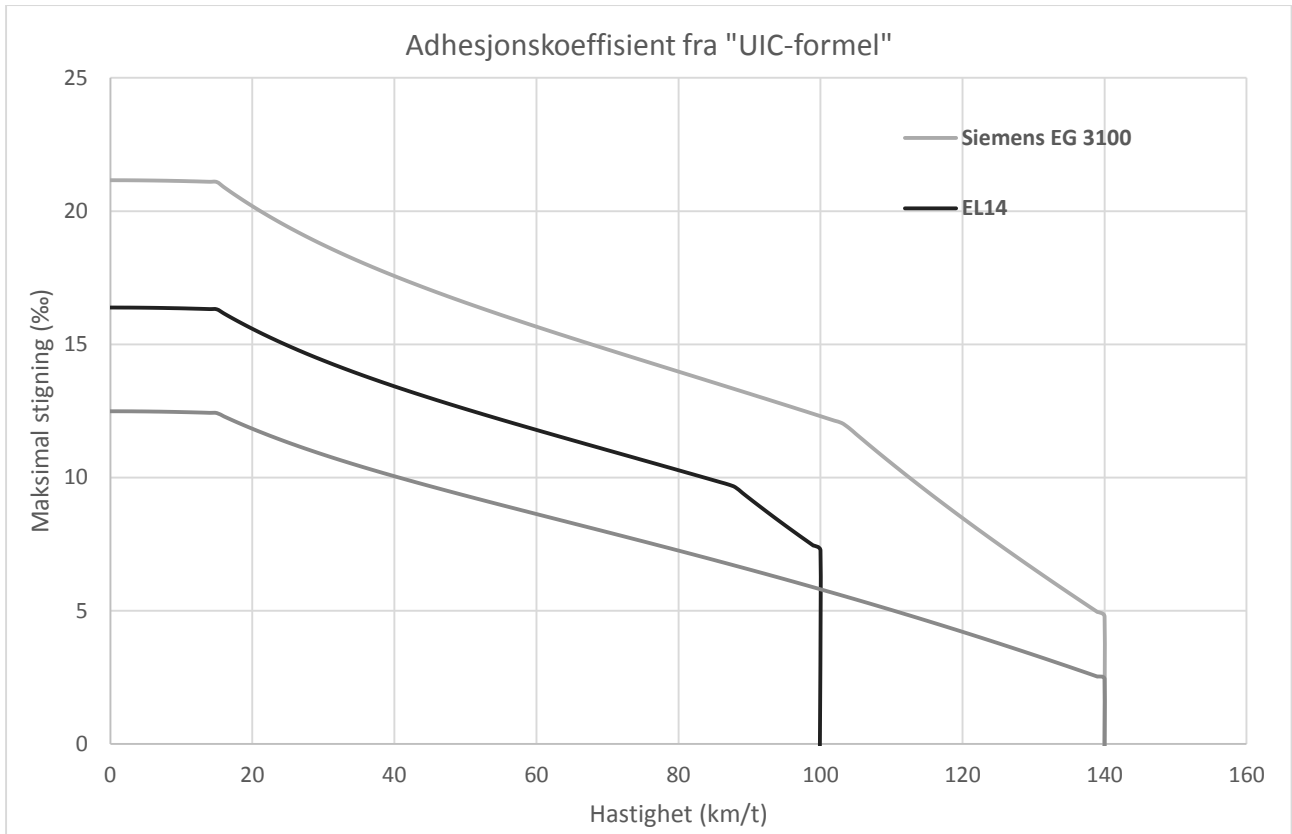
Maksimal stigning 1500 tonn tunge tog



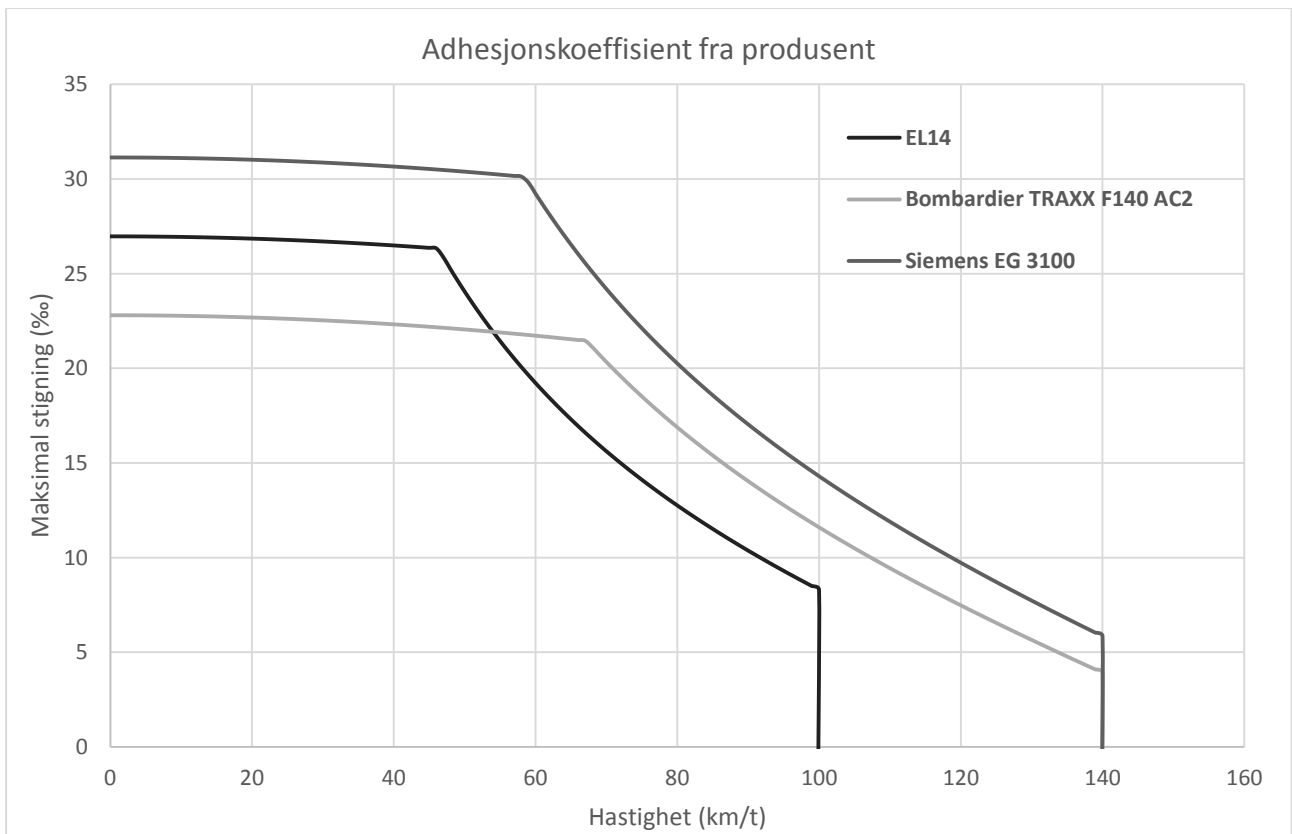
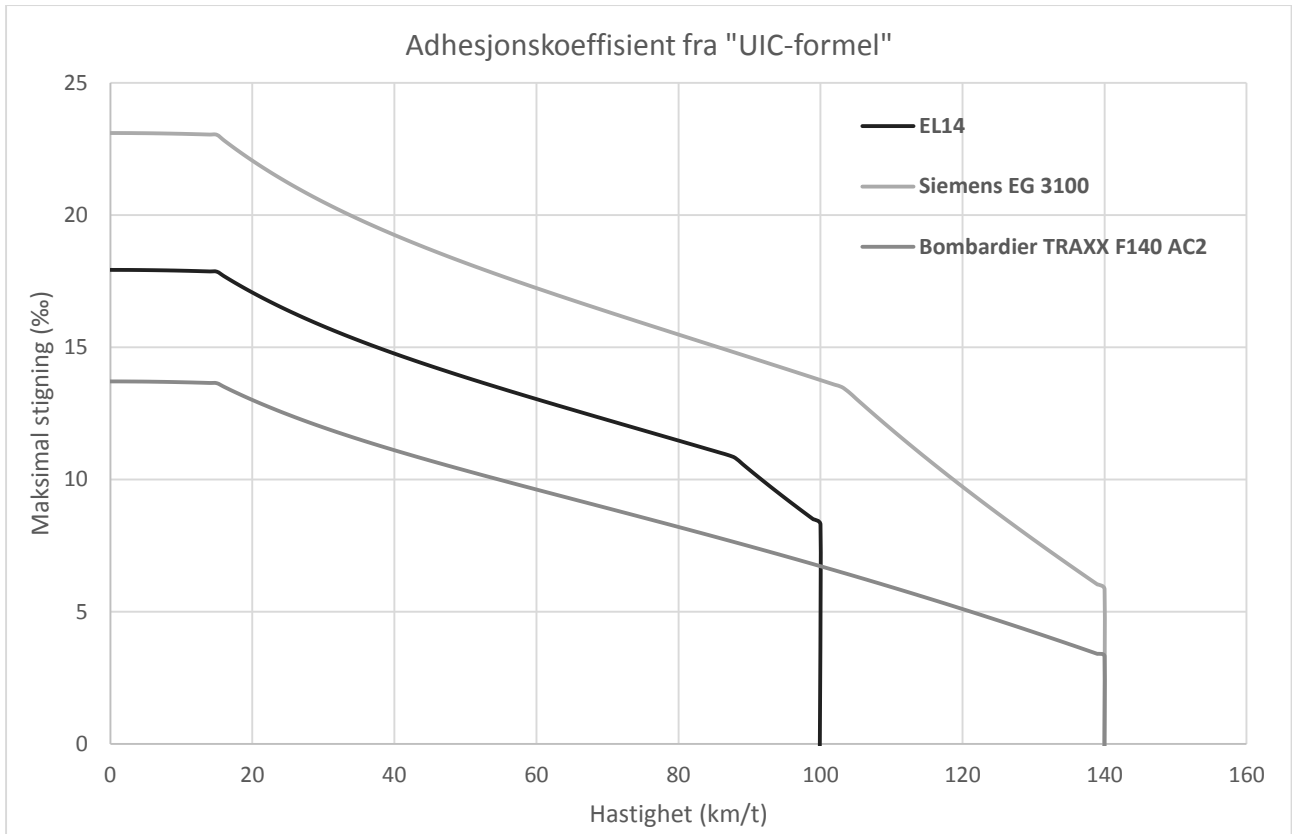
Maksimal stigning 1400 tonn tunge tog



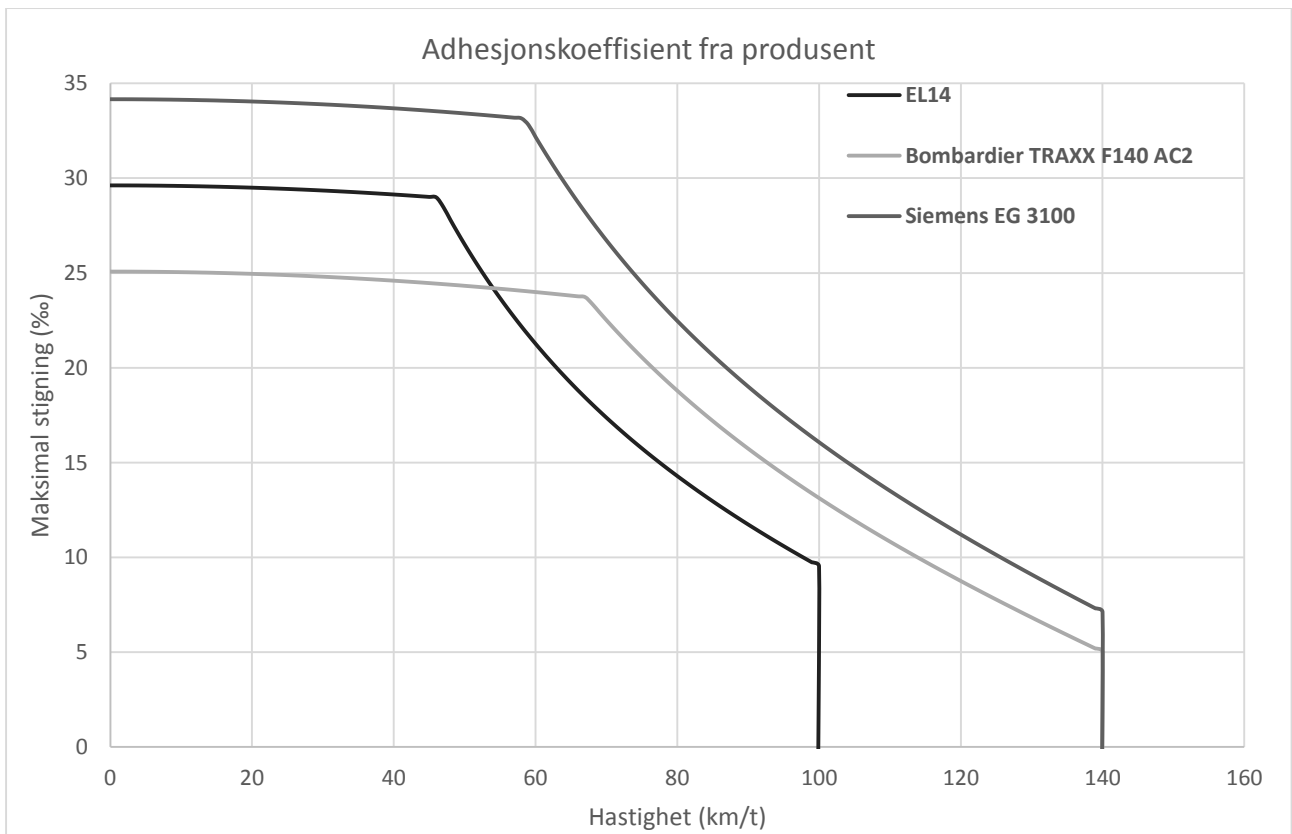
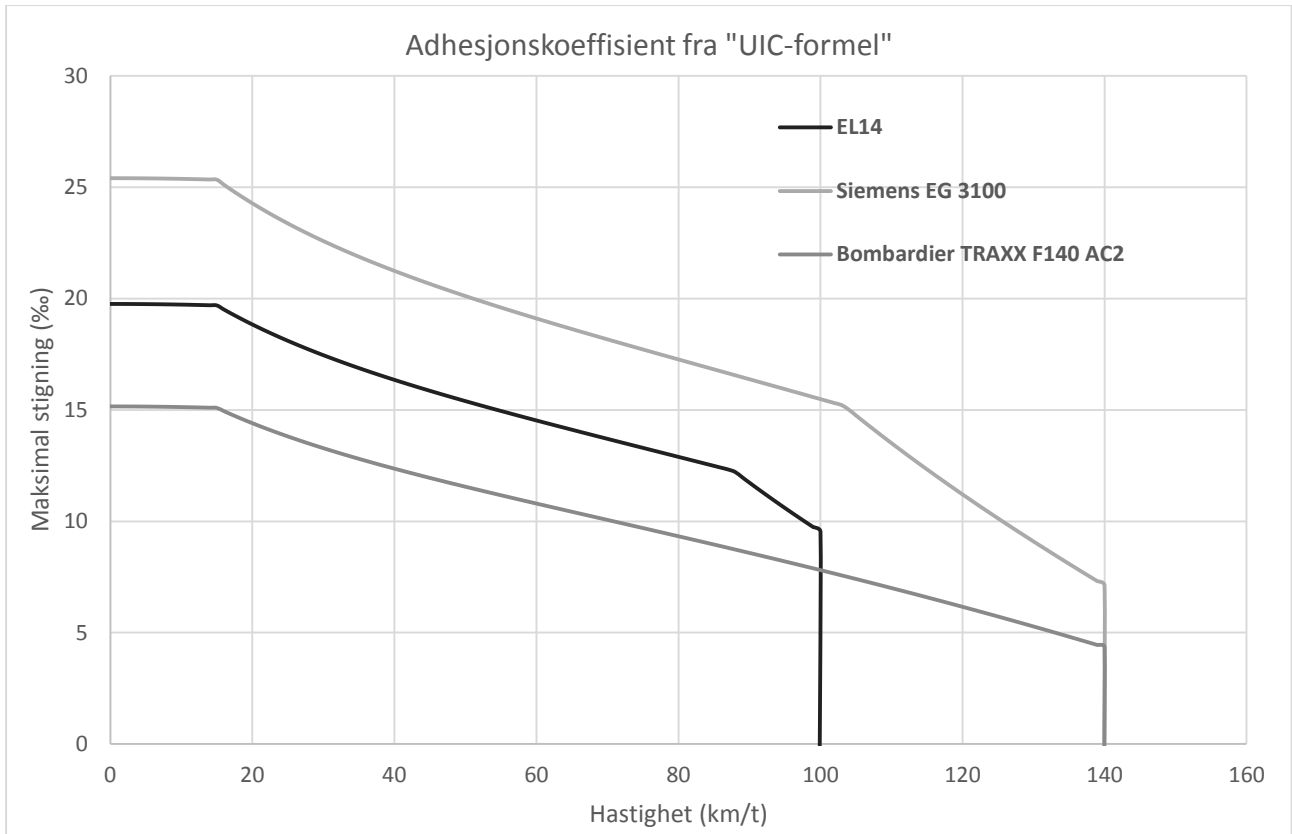
Maksimal stigning 1300 tonn tunge tog



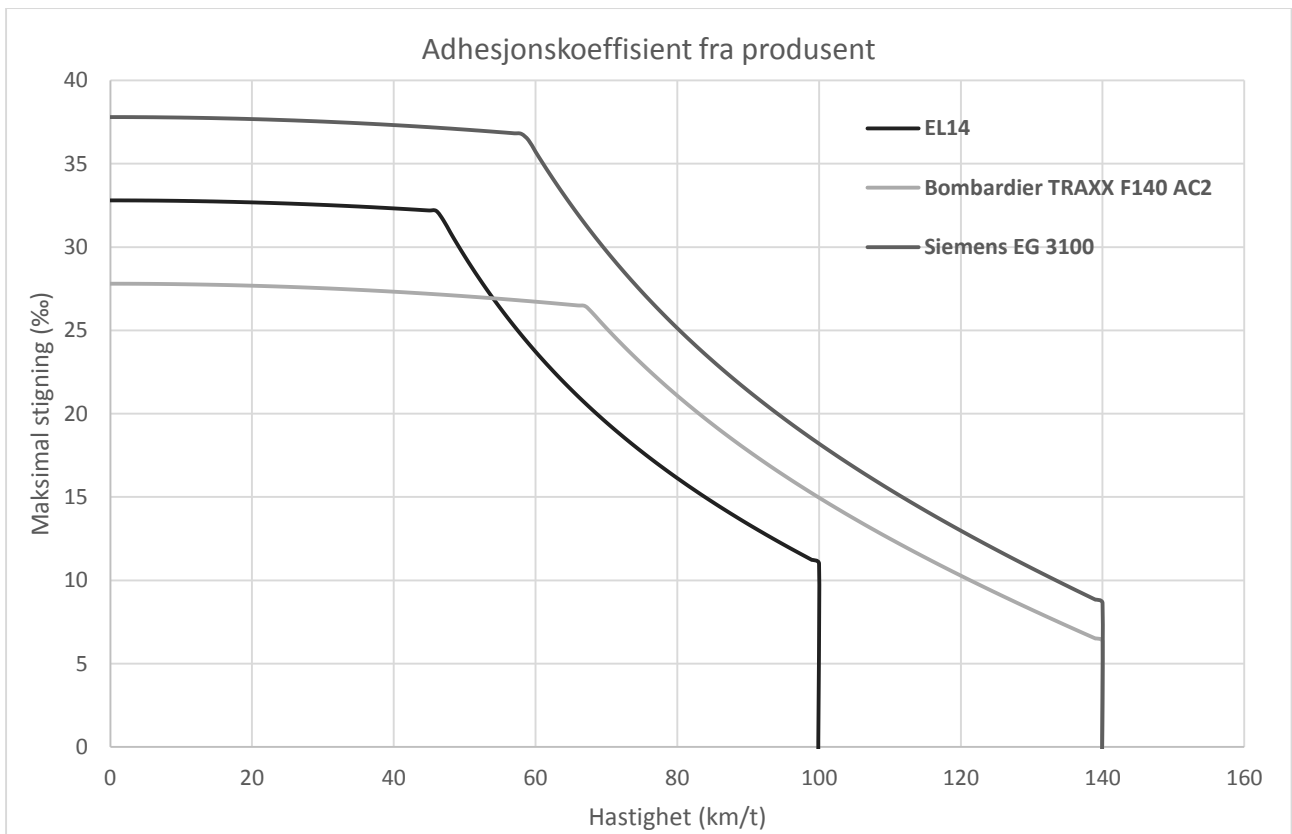
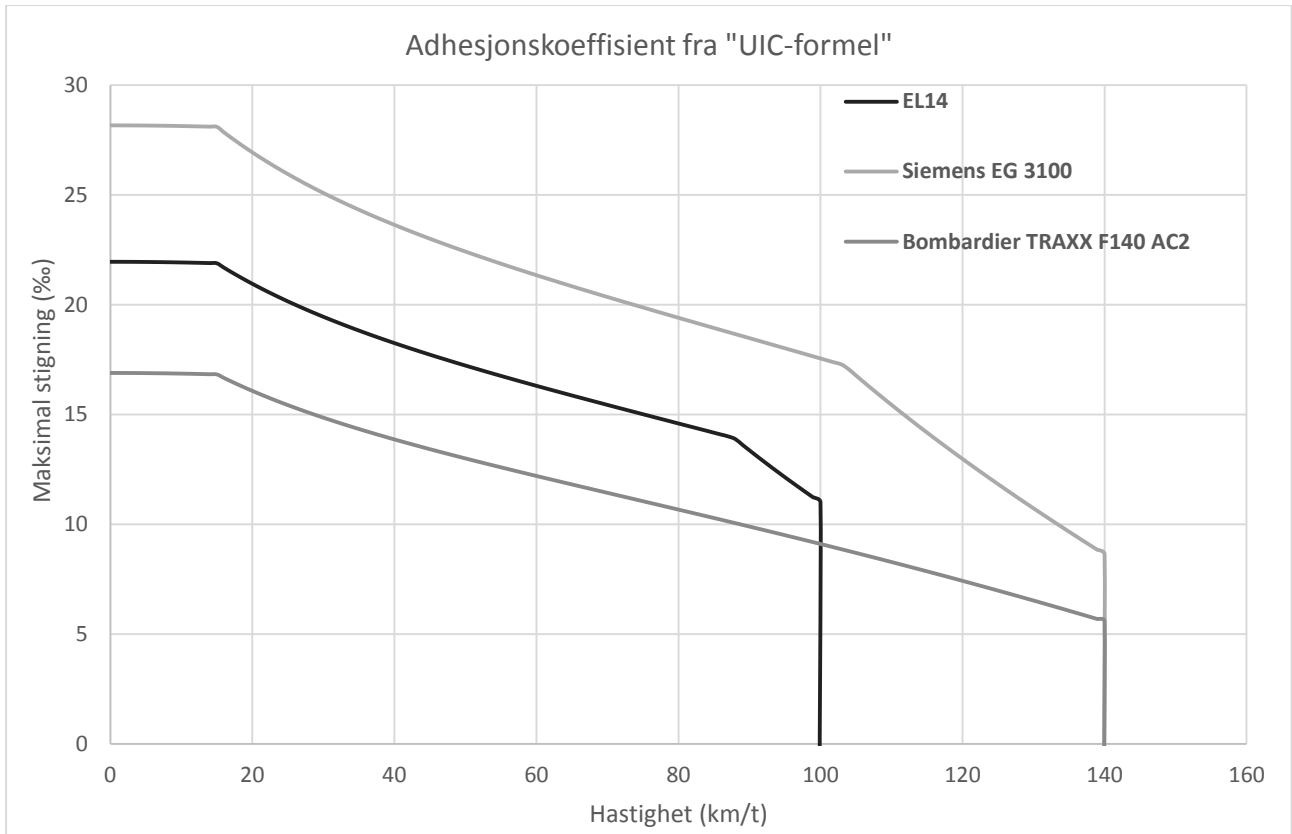
Maksimal stigning 1200 tonn tunge tog



Maksimal stigning 1100 tonn tunge tog



Maksimal stigning 1000 tonn tunge tog

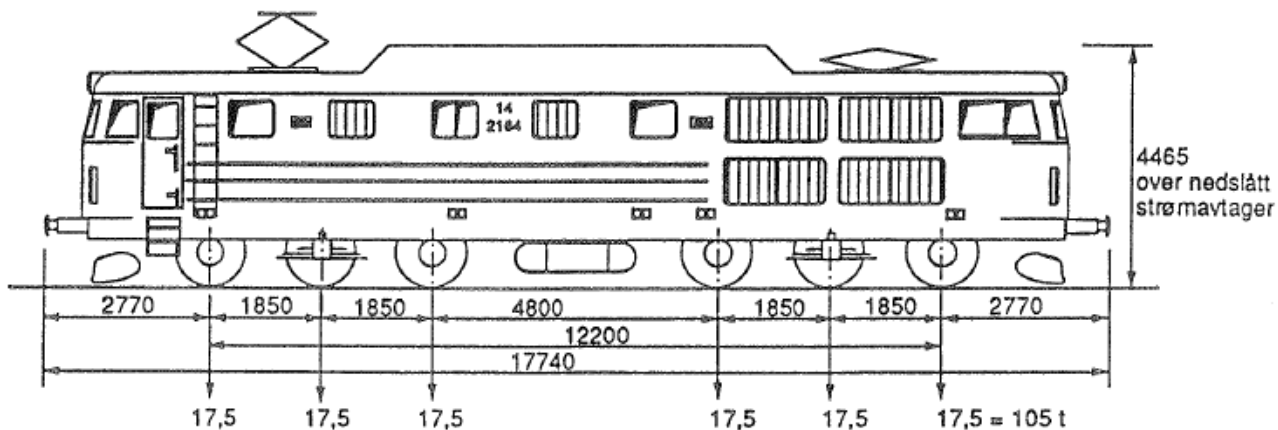


Vedlegg 5: Fakta og trekkraftdiagram lokomotiv

Fakta EL14

Lokomotiv type EI 14

Lok nr. 14.2164 - 2200	Tegn.fortegn. 767	Hovedtegn. EI 14/1 770 ₁ og EI 14/1 770 ₂	Byggeår 1968 - 73
---------------------------	----------------------	--	----------------------



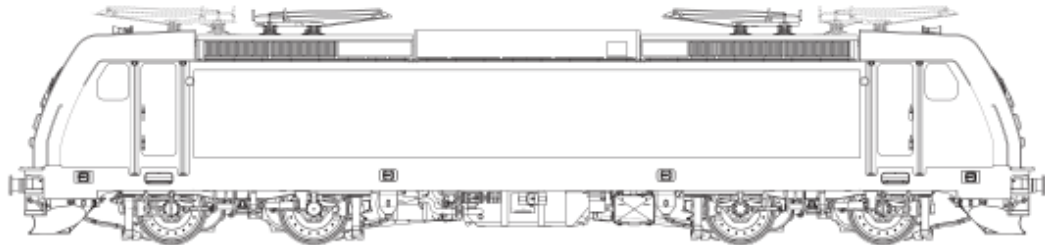
Akselanordning	Co'Co'
Ytelser, varig	
Trekraft	210 kN ved 76,5 km/t
Effekt	4 500 kW
Ytelser, 1 time	
Trekraft	250 kN v/ 72,5 km/t
Effekt	5 000 kW
Starttrekkraft	350 kN
Største tillatte hastighet	100 km/h
Vekter	
Bruttovekt	105,0 t
Dynamisk vekt	130,0 t
Bremset vekt P	90,0 t
Bremset vekt G	82,0 t
Maks. aksellast	17,5 t



Fakta og trekraftdiagram Bombardier TRAXX F140 AC2

TRAXX F140 AC

Freight



General Data

Track gauge	1435 mm
Clearance gauge	UIC 505-1
Type of vehicle	Dual frequency locomotive

Technical Data

System voltage	AC 15 kV/16.7 Hz, AC 25 kV/50 Hz
Train power supply	1.0 kV/16.7 Hz, 1.5 kV/50 Hz
Wheelset arrangement	Bo'Bo'
Drive system	Nose-suspended drive
Axle load	21 t
Number of traction motors	4
Max. traction power	5.6 MW
Max. starting tractive effort	300 kN
Electric braking effort	max. 240 kN, limited in accordance with national regulations
Electric braking power	5.6 MW
Max. speed	140 km/h
Power converters	2 x MITRAC* TC 3200
Pantographs	Depending on country package
Automatic train protection system	Country specific
Train radio equipment	Analog & GSM-R
Train communication system	ZMS
Air compressor capacity	2 400 l/min
Main air tank capacity	780 l

Dimensions and Weights

Length over buffers	18 900 mm
Max. width of carbody	2 977 mm
Height over pantographs	4 283 mm
Virtual distance between bogie centers	10 440 mm
Bogie axle base	2 600 mm
Wheel diameter new	1 250 mm
Wheel diameter worn	1 170 mm
Service weight	approx. 83 t

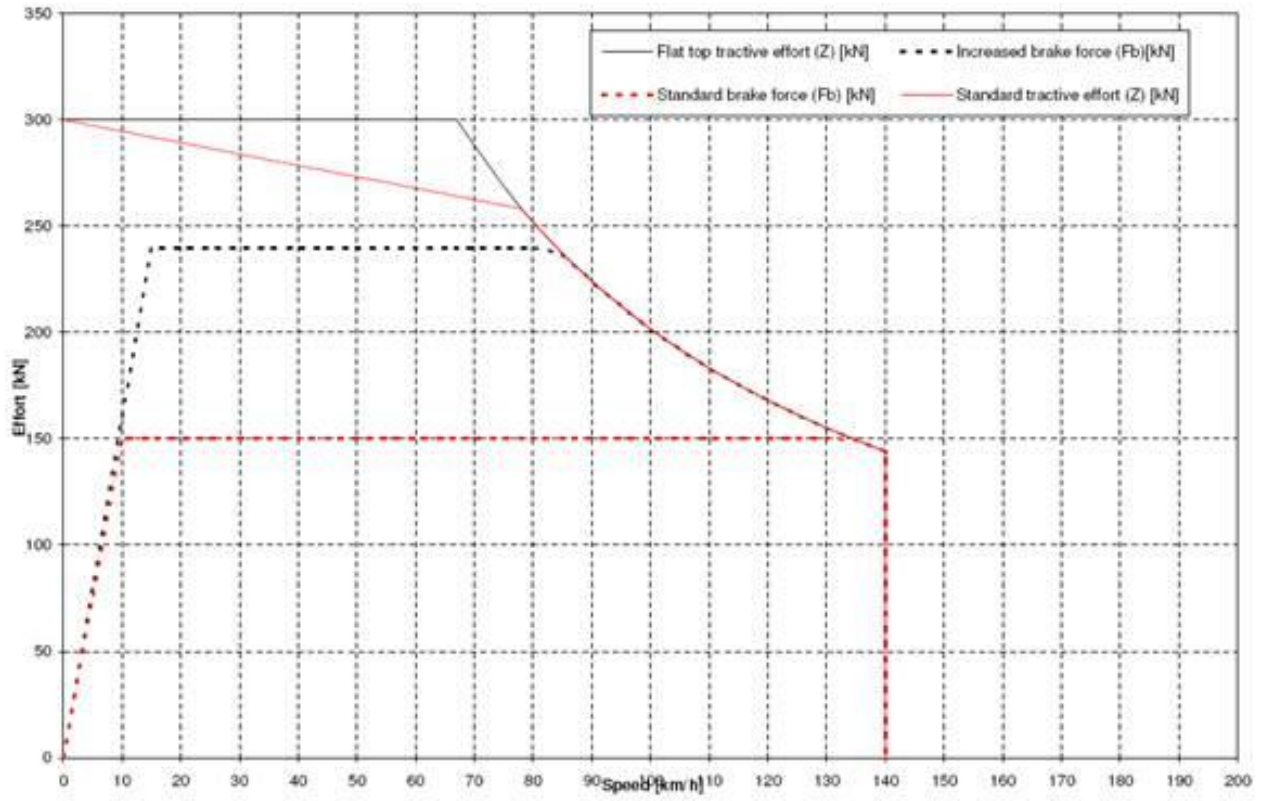
Special Features

Rear view equipment	Video cameras on request
---------------------	--------------------------

For corridors through the following countries

Austria, Bosnia, Bulgaria, Croatia, Denmark, France, Germany, Greece, Hungary, Luxembourg, Macedonia, Norway, Romania, Serbia, Sweden, Switzerland, Turkey

TRAXX F140 AC2 - 5600 kW



Fakta Siemens EG 3100



Six axles for more adhesive weight

To haul heavy freight trains with a trailing load of up to 2,000 t through the Great Belt tunnel with its 15.6‰ grades down to and up from the lowest level, the tractive effort of four-axle locomotives is not enough.

The new Class EG 3100 therefore has six axles. Nevertheless it is derived from the modular concept of the EuroSprinter® family from Siemens Transportation Systems. Like the Class 152 already in service with the DB Cargo section of German Rail, it is the second generation of the EuroSprinter.

High-performance for transit to the continent

In 1997, DSB ordered 13 dual-frequency locomotives from Siemens AG largely for freight traffic between Sweden and the continent passing through Denmark. An option for another seven exists. They are equipped with the Danish, Swedish and German train protection systems.

With a high traction power of 6.5 MW and a starting tractive effort of 400 kN, the EG 3100 locomotive has been designed for the demands of cross-border heavy freight traffic.

Modular structure

The overall concept of the locomotive is based on a modular structure. Both the mechanical and electrical equipment is divided into pre-tested, ready-to-install modules.

This has the advantage of reducing effort for maintenance and service work.

Powerful design

The EG 3100 aroused interest because of its unusual livery, which is part of the new DSB corporate design.

The outer contour is based on the forms of the DB Cargo's Class 152 locomotive. It was possible to take account of DSB's requirements with few alterations.

Technical data

Power systems	25 kV/50 Hz 15 kV/16.7 Hz
Wheel arrangement	Co'Co'
Service weight	132 t
Starting tractive effort	400 kN
Electrical braking effort	
maximum	240 kN
Nominal power (continuous power)	6,500 kW
Maximum speed	140 kph
Gauge	1,435 mm
Length over buffers	20,950 mm
Mean distance of secondary suspension levels	10,200 mm
Bogie wheelbase	2000/2250 mm
Vehicle loading gauge	(UIC 505-1) EBO G2
at roof level	DSB gauge
Temperature range	-30°C to +40°C

Vedlegg 6: Formler toglengde og aksellast

Formlene nedenfor er laget for å se på sammenhengen mellom toglengde, aksellast og oppfyllingsgrad.

$$\text{Toglengde} = L_{lok} + (L_{vogn} \cdot \text{Antall vogner}) \quad (6.1)$$

$$\text{Antall vogner} = \frac{m_{tog} - m_{lok}}{m_{vogn,x} \% \text{ oppfyllingsgrad}} \quad (6.2)$$

$$m_{vogn,x} \% \text{ oppfyllingsgrad} = m_{vogn,tomvekt} + (\text{oppfyllingsgrad} \cdot \text{maksimal nyttelast}) \quad (6.3)$$

$$\text{Maksimal nyttelast} = m_{vogn,maks} - m_{vogn,tomvekt} \quad (6.4)$$

$$m_{vogn,maks} = \text{antall aksler vogn} \cdot \text{maksimal aksellast} \quad (6.5)$$