

Bybanen til Åsane – BT5.  
Reguleringsplan med teknisk forprosjekt

---

Dato: 2022.09.14

*Dette dokumentet er et internt notat som skal gi grunnlag for videre faglige vurderinger og anbefalinger. Notatet er en del av arbeidet med reguleringsplanene for Bybanen fra sentrum til Åsane. Reguleringsplanarbeidet er i en pågående prosess, og notatet gir et bilde av løsninger og vurderinger på det gitte tidspunkt. Både utarbeiding av løsninger og vurderinger av disse er en del av en arbeidsprosess der løsningene kan bli endret underveis, og notatene vil ikke nødvendigvis oppdateres. Planprosessen blir dokumentert i planbeskrivelsen, der løsninger og faglige vurderinger blir presentert. Reguleringsplan med teknisk forprosjekt skal legges ut på offentlig ettersyn før den vedtas politisk.*

## DS1 – Uten kontaktledning over Bryggen

### Sammendrag og oppsummering

Dette notatet oppsummerer virkninger av vedtaket om at utvidelsen av Bybanen mot Åsane (BT5) skal bygges uten kontaktledning over Bryggen. Konsekvensene er vurdert opp mot opprinnelig planlagt løsning.

01B	For informasjon	2022.09.14	PMH	JoSjo/PSS	NiDyb	IOV
Versjon	Beskrivelse	Dato	Utarb. av	Fagkontroll	Tverf.kontr.	Godkj. av

Dette dokumentet er utarbeidet av rådgiver som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører rådgiver. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

## 1 INNHOLD

<b>2</b>	<b>Bakgrunn .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Strømforsyning.....</b>	<b>3</b>
3.1	Kort om løsning med kontaktledning .....	3
3.2	Forhold ved batteridrift.....	4
3.2.1	Økt vekt gir økt energiforbruk .....	4
3.2.2	Virkning på spenningsprofil avhenger av strategi for lading .....	4
3.2.3	Virkning på maksimal effekt og energiuttak fra de enkelte likeretterstasjonene .....	4
3.2.4	Bystasjonen.....	5
3.3	Bruk av vogner med batteri gir muligheter for optimering av strømforsyningen ...	5
3.4	Hovedpunkter som bør bli vurdert nærmere i videre planlegging .....	5
<b>4</b>	<b>Forsyningskabel langs strekningen uten KL.....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Kontaktledningsanlegg langs strekningen.....</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>Belysning .....</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>Hensettingsspor .....</b>	<b>8</b>
<b>8</b>	<b>Rystelser .....</b>	<b>9</b>

## 2 Bakgrunn

I Bystyret 15 desember 2021 ble det vedtatt at utvidelsen av Bybanen mot Åsane (BT5) skal bli bygd uten kontaktledning (KL) forbi Bryggen. Dette notatet oppsummerer hvilke virkninger dette har for prosjektet i forhold til opprinnelig planlagt løsning. Følgende forhold er vurdert å kunne påvirkes:

- Strømforsyning må sikre ladebehov.
- Avslutning av KL ved holdeplassene vil kreve avspenning mot mast eller feste etter holdeplass.
- Plan for KL-plassering.
- Koordinering mot belysning Bryggen - Torget (som ivaretas av prosjektgruppen «Mot Vågen» på vegne av Bymiljøetaten).
- Hensettingsspor havner på strekning uten KL. Dette medfører behov for tilrettelegging for lading av vogn ved dette sporet.
- Vurdering av om endring av vekt av vognene (pga. batteripakker) påvirker rystelser.

## 3 Strømforsyning

Ved omlegging til batteridrift over Bryggen, må strømforsyningen sikre ladebehov langs andre deler av anlegget. Det er i denne omgang ikke utført simuleringer for å estimere hvordan slik drift vil påvirke spenningsforhold langs banen og heller ikke effekt- og energibehov, hverken i sum for anlegget eller for de enkelte likeretterstasjonene. Notatet er derfor begrenset til kvalitative vurderinger av mulige virkninger. Følgende forhold vil gjelde:

- Økt vekt på grunn av batterier vil sannsynligvis øke totalt energibehov noe.
  - Her kan bruk av batterier bidra til optimalisering av regenereringen, og økningen kan derfor bli moderat.
- Lading underveis vil redusere tilbakemating via regenerering og dermed endre effektuttaket (både maksimal effekt og profil) fra de ulike likeretterstasjonene og dermed gi en annen spenningsprofil langs banen.

Videre vil det være viktig å vurdere koordineringen av ruteplanene for de ulike banene for eventuelt å begrense effektbehovet i sentrum. Dette gjelder kanskje spesielt dersom mange vogner vender i sentrum. Tidligere analyser indikerer også at spenningsforholdene i sentrum kan bli utfordrende ved utfall av likeretteren ved Bystasjonen. Økt effekt til lading i sentrum kan derfor kreve tiltak i form av økt kapasitet i likeretteren ved Bystasjonen og/eller (flere) parallellkabler fra nærmeste likeretterstasjoner – inkludert likeretteren i Sandbrogaten.

### 3.1 Kort om løsning med kontaktledning

Tidligere analyser med kontaktledning (KL) også langs Bryggen har konkludert med at et anlegg med syv likeretterstasjoner langs BT5 gir gode forsyningsforhold både i normaldrift og ved utfall av en likeretterstasjon.

For BT5 viser tidligere analyser at likeretteranleggene ved Bystasjonen og i Sandbrogaten vil ha høyest maksimal effekt. Gitt at installert ytelse for transformatorene er 2 x 1250 kVA, ligger RMS-verdien for en time nær 50 % i Bystasjonen. Likeretterstasjonene langs BT5 vil ha noe lavere belastning. Resultatene indikerer derfor at full drift på Bybanen vil være mulig selv med en av to transformatorer/likeretterenheter ute av drift. Her må det bemerkes at resultatene for Bystasjonen er noe usikre i og med at framtidige ruteplaner for de tre banestrekningene

(BT1-3, BT4 og BT5) ikke har vært tilgjengelig for simuleringene og at simuleringene derfor er basert på antagelser rundt antall avganger på de ulike banene og tidspunkt for avgang etc.

Ved utfall eller utkobling av en likeretterstasjon, blir høyeste RMS-verdi for 1 time omtrent 140 % av merkeytelsen på likerettertransformatorene. Dette gjelder likeretteren ved Bystasjonen. Anlegget i Sandbrogaten blir marginalt lavere belastet. For de andre stasjonene videre utover langs BT5 er det gode marginer selv ved utfall av en likeretterstasjon. Dette gir noe rom for eventuell lading av vogner på denne delen av BT5.

Spenningsprofilen langs banen er svært god i normaldrift med en laveste spenning på ca. 670 V. Laveste spenning ved utfall av likeretteren ved Bystasjonen eller i Sandbrogaten er 540-550 V. Her gir KL-anlegget støtte fra nabostasjon, og et anlegg uten elektrisk forbindelse over Bryggen må forventes å forverre forholdene. Her kan både koordinering av ruteplaner og ladefilosofi ha stor betydning for spenningsforholdene. Mer bruk av parallellkabel kan også bli aktuelt.

## **3.2 Forhold ved batteridrift**

### **3.2.1 Økt vekt gir økt energiforbruk**

Vogner med batteridrift må forventes å ha noe høyere vekt enn vogner uten batteri. Økt totalvekt vil gi noe høyere energiforbruk totalt – med mindre batteriene gir muligheter for optimering av driften og bedre utnyttelse av regenerering på systemet. Økt energiforbruk vil ikke nødvendigvis gi høyere maksimaleffekt, men gir en høyere gjennomsnittsbelastning. Tidligere analyser viser at med syv likeretterstasjoner langs BT5 vil det være noe reserve gitt likerettere med 2 x 1250 kVA transformatorer og 2 x 1 500 A likeretterbroer. Eventuelt behov for oppgradering av likeretterstasjonene må vurderes nærmere for aktuelle vogner med batterier.

### **3.2.2 Virkning på spenningsprofil avhenger av strategi for lading**

Det synes mest aktuelt å legge opp til at batteriene på vognene skal lades underveis. Batteriene vil også kunne lades ved optimal bruk av regenerering inn mot holdeplasser og ved bremsing der baneprofilen tilsier bruk av regenerering.

Det vil også kunne være behov for å identifisere områder der lading skal unngås eller begrenses. Bruk av en nedre spenningsgrense for lading fra KL-anlegget vil ikke nødvendigvis være tilstrekkelig i og med at spenningen andre steder langs banen kan falle under kritisk nivå. Dette skyldes at flere vognsett langs banen også trekker effekt fra anlegget og at spenning på KL-anlegget derfor kan bli for lav andre steder.

Dersom det legges opp til lading (eller det av andre grunner skulle være behov for høy ladeeffekt) ved endeholdeplassene, kan dette klart medføre behov for økt installert effekt i nærmeste likeretterstasjon. Belastningen på flere av likeretterstasjonene langs BT5 er imidlertid relativt moderat, og forholdene ligger slik sett godt til rette for at batteriene kan lades på strekningen mellom Amalie Skrams vei og Åsane/Vågsbotn og at lading ved Bystasjonen og Sandbrogaten i stor grad kan bli begrenset.

### **3.2.3 Virkning på maksimal effekt og energiuttak fra de enkelte likeretterstasjonene**

Det er forventet at energiuttaket øker noe på grunn av økt vekt. Bruk av batterier gir som nevnt også rom for å optimalisere driften. Her forventes forskjell i rush-tid med kort avstand mellom vognene og ved drift utenom rush-tid med større avstand mellom hver avgang. For et system med KL-anlegg uten mulig lagring av energi, vil regenereringen ofte fungere best når

det er høy trafikk – det vil si liten avstand mellom vognene. I perioder med færre avganger og dermed større avstand mellom vognene, vil regenerering kunne bli begrenset av høye spenninger på KL-anlegget, og en større del av energien kan derfor gå tapt enten via motstand (braking resistor) eller ved mekanisk bremsing.

Optimering av driften må simuleres for å bestemme batteri-størrelse og -ytelse, og dermed estimere energiforbruket. Slike simuleringer er også nødvendig for å kartlegge maksimal effekt på likeretterne. I og med at det totale energiforbruket er forventet å øke, er det rimelig å anta at også maksimal effekt vil øke, men profilen vil nødvendigvis endres. Deler av energiforbruket som blir dekket fra Bystasjonen og Sandbrogaten med en gjennomgående KL-løsning langs Bryggen, må nødvendigvis dekkes fra andre stasjoner. Effekt- og energiforbruket på likeretterstasjonene fra Amalie Skrams og videre utover langs banen må derfor antas å øke, men tidligere analyser indikerer at det her er noe rom for høyere last før det eventuelt blir nødvendig å planlegge økt ytelse i disse stasjonene.

#### **3.2.4 Bystasjonen**

Tidligere analyser har pekt på behovet for å analysere forholdene rundt likeretteren ved Bystasjonen basert på koordinerte ruteplaner for driften av BT1-3, BT4 og BT5. Dette blir enda viktigere dersom flere vogner med batteridrift skal lades i sentrum. Dersom det er behov for utstrakt lading i sentrum, er det sannsynlig at installert effekt bør bli økt i likeretterstasjonen ved Bystasjonen.

Videre kan økt effektbehov i sentrum gi utfordrende spenningsforhold ved utfall eller utkobling av likeretteren ved Bystasjonen. Her kan støtte fra nabostasjoner ved legging av (flere) parallellkabler være en aktuell løsning. Behovet må kartlegges gjennom simuleringer med aktuelle vogner med batterier og fortrinnsvis en realistisk ruteplan for de ulike banestrekningene (med plan for hvordan vogner snur i sentrum etc.).

Behovet for lading i sentrum vil nødvendigvis avhenge av størrelsen på batteriene på vognene. Med tilstrekkelig store batterier, kan lading i sentrum unngås.

### **3.3 Bruk av vogner med batteri gir muligheter for optimering av strømforsyningen**

Batterienes størrelse bør optimeres ikke bare for batteridrift over Bryggen, men også ta hensyn til mulig effektivisering for anlegget totalt sett. Som nevnt, gir batterier muligheter for bedre utnyttelse av regenerering av energien tilført vognene.

Vogner med batteri åpner også for å fjerne kontaktledningen på andre delstrekninger enn over Bryggen og kan dermed redusere investeringer i strømforsyningen andre steder. Lengde på aktuelle strekninger kan ha betydning for størrelsen på batteriene og eventuelt også maksimal ladeytelse. Optimeringen av anlegget blir en avveining mellom kostnader på vognmateriell kontra KL-anlegg osv. i tillegg til vurderinger av verdien av endringer i visuell påvirkning.

### **3.4 Hovedpunkter som bør bli vurdert nærmere i videre planlegging**

Basert på betraktningene over, anbefaler vi at følgende momenter bør bli tatt hensyn til i videre planlegging av strømforsyning og optimalisering av driften:

- Installert ytelse i Bystasjonen likeretter
- Spenningsforhold i sentrum ved utfall / utkobling av Bystasjonen likeretter
- Dimensjonering av batteri for drift uten KL over Bryggen
- Optimalisering av batteriytelsen med tanke på energiøkonomisering langs hele banen
- Ladefilosofi og maksimal ladeytelse
- Mulig fjerning av KL på andre delstrekninger

Et hovedpoeng er at krav til fjerning av KL på en delstrekning og dermed behov for vogner med batteridrift, gir muligheter for å optimalisere strømforsyningen langs hele strekningen trafikkert med slike vogner.

#### **4 Forsyningskabel langs strekningen uten KL**

For å sikre tilstrekkelig kapasitet til forsyningen av KL-anlegget i sentrum og også i tunellen nordover fra Sandbrogaten ved utfall av likeretteren i Bystasjonen eller i Sandbrogaten, vil det kunne være behov for forsyningskabel langs strekningen uten KL over Bryggen. Behovet må avklares gjennom simuleringer av driften med vogner med batteri, men planlegging av spor etc. bør ta høyde for at det minimum skal være parallellkabler fra likeretteren ved Sandbrogaten til der KL-anlegget starter ved holdeplassen på Torget.

Langs sporet fra holdeplass Sandbrogaten til holdeplass Torget må det legges matekabler i trekkerør. Det avsettes plass til 4 stk 160mm trekkerør i tverrsnitt for spor. Om lengden blir for stor må det etableres egne trekkekommer for denne trekkerørspakken. Disse kablene skal erstatte kjøreledning. Det kan vurderes å ha en avstikker til hensettingssporet fra denne trase.

Likestrømskablene eller matekabler avsluttes i KL-mast på begge holdeplasser og kobles til kjøreledning.

Detaljer vises i snitt på tegning BT5-F-10010 og BT5-F-10011. Det er viktig at det tidlig i planlegging av infrastruktur på strekningen settes av plass på riktig side i tverrsnittet for denne forsyningstrasen.

#### **5 Kontaktledningsanlegg langs strekningen**

Det er lagt til grunn å bruke kontaktledning uten bæreline for hele delstrekning 1, for at kontaktledningsanlegget skal være en mindre visuell belastning for sentrum. Det er lagt til grunn at det ikke blir kontaktledning langs Bryggen, og det er derfor ingen kontaktledningsanlegg mellom Torget holdeplass og Sandbrogaten. Kontaktledningsmaster på Torget skal plasseres i samarbeid med prosjektgruppen «Mot Vågen» for belyningsformål. Der skal det brukes runde master med eget design i stedet for standard bjelkemaster for å ha mindre tung visuell innvirkning på området. Hvor stor del av delstrekning 1 som skal ha denne typen mast må avklares. Så langt er løsningen lagt inn i Sandbrogaten, samt strekningen Torget-Torgallmenningen. Det anbefales å bruke veggfester så mye som mulig. Master med syntetisk tau mellom blir plassert hvor det ikke er mulig å benytte veggfester.

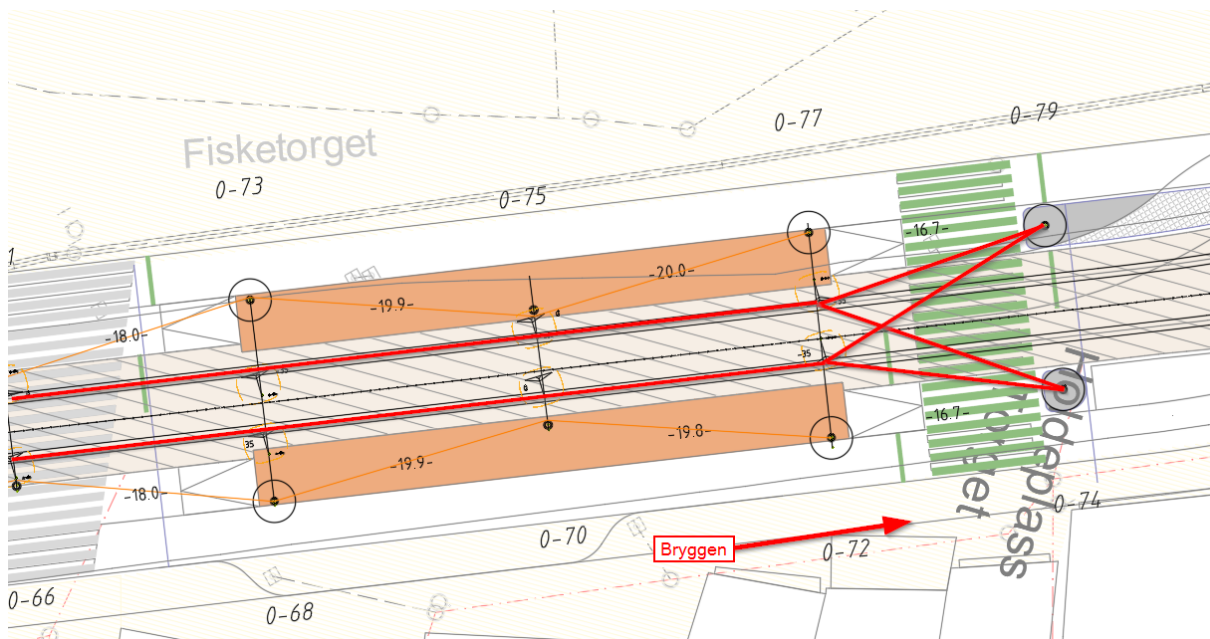
Særlig master for kontaktledningsnett krever dype fundamenter. Det foreslås å benytte en løsning med Mofix-master som bores ned i grunnen. Disse er mindre volumkrevende enn plass-støpte fundamenter og vurderes som enklere å tilpasse øvrig infrastruktur under bakken. Mastene har en diameter på om lag 35 eller 55 cm som bores om lag fire meter ned i grunnen. Valg av fundament må også sees i sammenheng med sårbare kulturlag innenfor hvert enkelt delområde.

Det er også en rekke øvrige tilpasninger som må hensyntas i videre detaljplanlegging;

### Torget

Kontaktledningen sør for Bryggen er planlagt avsluttet ved Torget holdeplass i master som står ca. 16 m nord for holdeplassen. Plasseringen etableres i henhold til standard holdeplass, men med bruk av runde spesialmaster.

Det vil være behov for utmating til kontaktledning fra forsterkerkabel ved Torget holdeplass.



Figur 1 Torget holdeplass

### Sandbrogaten

Det er ikke kontaktledningsanlegg over Bryggen grunnet batteridrift. Kontaktledning fra nord avsluttes derfor i Sandbrogaten. Det betyr at det vil bli et strekke på ca. 200m med kontaktledning sør for tunnelåpningen. Pantografen vil bli hevet eller senket ved stans på Sandbrogaten holdeplass når vognene skal bytte mellom batteridrift og forsyning fra kontaktledning. For at vogner fra Åsane skal kunne vende ved bruk av sporsløyfe i Sandbrogaten uten batteridrift, må kontaktledningsanlegget strekke seg ca. 130 m sør for holdeplassen. Det blir ekstra behov for veggfester ved sporsløyfe for å holde kontaktledningene for sporsløyfe. Det blir totalt 6 kontaktledningsender som blir avspent i Sandbrogaten. Avspenningene blir på veggfester og master ved Bradbenken og Sandbrogaten holdeplass.

På vestsiden av Sandbrogaten er det bygninger i teglstein hvor det er usikkert om man kan benytte veggfester. Bygningene er underlagt ulike former for vern, flere av dem er aktuelle for fredning. Det er lagt til grunn fire master på den siden av gaten som blir integrert i mur og plassert mellom trær. Om noen av mastene kan byttes ut med veggfester må avgjøres nærmere bygging.

Kontaktledningsfundamenter må hensynta kulturlag i bakken. Det kan derfor ikke benyttes Mofix-fundamenter (pælefundamenter). Det må detaljprosjekteres grunne spesialelementer, fortrinnsvis i kombinasjon med øvrige konstruksjoner. Det må også etterstrebtes valg av løsninger som fører til lav tilleggsbelastning/vekt på kulturlagene.

Tilpasning inn mot tunnelåpning er beskrevet i eget dokument: NO-DS1-029 Kryssing av jernbanetunnel ved Sandbrogaten-01D. I hovedsak blir kontaktledningshøyden lavere i tunnelen. Kontaktledningen må senkes gradvis gjennom Sandbrogaten i retning tunnelåpningen.

Løsninger for plasseringer av kontaktledningsmaster integrert i murer i Sandbrogaten er vist i tegning F-10010, F-10011 og F-10012.

Det vil være behov for utmating til kontaktledning fra forsterkerkabel og/eller likeretter i Sandbrogaten.



Figur 2 Sandbrogaten holdeplass

## 6 Belysning

Reguleringsplanen for Bybanen setter funksjons- og kvalitetskrav for oppfølging av prinsippene angitt i dokument A3 *Lighting concept – Belysning med batteridrift utarbeidet* av Prosjektgruppen «Mot Vågen» på vegne av Bymiljøetaten. Planen viser prinsipiell løsning for type lysmast/KL-mast samt plassering av disse. Fra Bradbenken til Torget der banen vil gå på batteridrift skal det kun etableres lysmaster.

På Torget holdeplass og frem til Småstrandgaten, reguleres belysning som en integrert del av kontaktledningsanlegget (KL-anlegget). Spesiellmastene har samme design som lysmastene, men vil ha noen andre krav til dimensjonering. Prinsippene i lysplanen legger vekt på løsning som benytter færrest mulig master langs hele strekket og samtidig ivaretar krav til belysning for syklende og gående langs banen.

## 7 Hensettingsspor

Hensettingssporet ved Bradbenken ligger på en strekning uten kontaktledning. Vogn med fungerende batteri som må hensettes for kortere perioder grunnet annen feil, i påvente av transport til verksted, kan parkeres på sporet. Vogn uten fungerende batteri må hjelpes ut på sporet, og hensettes til det kan slepes til verksted. Det vil være behov for strøm til en hensatt vogn, enten for lading av batteri, for test av utstyr, eller for annet strømkrevende arbeid. Kabling frem til skap eller annen innretning tett på hensettingssporet vil bli ivaretatt i teknisk forprosjekt. Det forutsettes at vogn i slike situasjoner kan kobles til strøm fra bakken, da etablering av kontaktpunkt for strømvtager på tak trolig vil kunne være skjemmende i dette



sårbare bybildet. Detaljer rundt denne strømforsyningen må avklares ved prosjektering når løsning på vogn er kjent.

## 8 Rystelser

Batterier øker vekten på vognene. Det er derfor gjort en faglig vurdering på om denne økte vekten vil kunne gi økte rystelser langs traseen. Hvorvidt dette betyr at en vil sette batteripakker på taket av dagens vogner, eller satse på nye vogner, er i dag ukjent. Pr nå kan vi bare ta utgangspunkt i den vognparken vi kjenner.

Dagens bybanevogn veier ca. 51 tonn uten passasjerer. Legger vi på 250 passasjerer øker vekten med rundt 19 tonn til totalt ca. 70 tonn. Batteripakke med kontrollutstyr antas å veie under 1000 kg, og utgjør dermed bare 1-2% vektøkning avhengig av last i vognen. Vår faglige vurdering er at dette utgjør så lite at det ikke vil kunne gi noen merkbar forskjell knyttet til rystelser langs traseen.

Rystelser fra banen vil uavhengig av batterier eller ikke være underlagt grenseverdier som må håndteres ved utbygging.