

## Valg av betongsville for 35 tonns aksellast på Ofofbanen

### Konklusjon

Den svenske betongsvillen TYP SB35F og den norske betongsvillen JBV 60 er vurdert for 35.00 tonn aksellast på Ofofbanen.

For tunglastbaner med aksellast opp mot 35.00 tonn er det internasjonalt en oppfatning om at belastet flate i underkant sville mot ballast > ca. 7200 mm<sup>2</sup> og at svillevekt bør være > ca. 350 kg med avstand mellom svillene på 600 mm.

For Ofofbanen er svilleavstand 520 mm som gir en bedre lastfordeling. Aspektet skulle tilsi en svilleflate mot ballast > ca. 6240 mm<sup>2</sup> og en svillevekt > ca. 300 kg.

Både den svenske betongsvillen TYP SB35F og den norske betongsvillen JBV 60 har en flate på ca. 6500 mm<sup>2</sup> mot ballast > 6240 mm<sup>2</sup>. Begge svillene har en vekt på ca. 285 kg < 300 kg.

Med utgangspunkt i sporgeometri med små kurveradier og fallende gradient på 15 – 17 promille for linjeføringen på Ofofbanen vil den lave vekten på ca. 285 kg og til dels også belastet flate i underkant sville føre til anstrengende belastning på sporkonstruksjonen ved framføring av 35.00 tonn aksellast i bremset tilstand fra svenskegrensen og ned til Narvik havn.

Den globale nedbrytning av overbygningen vil trolig skje hurtigere enn ved en tyngre sville med større belastet flate i underkant.

Ideell vekt av sville bør > ca. 320 kg og belastet flate mot ballast opp mot 7000 mm<sup>2</sup>.

I vurderingen av de 2 svillene bør TYP SB35F velges da det foreligger betydelig mer og grundigere dokumentasjon for denne svillen. Svillen vil bidra til en akseptabel sporkonstruksjon og trolig fungere tilfredsstillende.

Det må vektlegges at det utføres prøvekjøringer på Malmbanan med aksellast på 32.50 tonn med betongsville av TYP SB35F hvor avstand mellom svillene er 600 mm. I jevnlig mottatte erfaringsrapporter fra Trafikverket blir det meddelt at erfaringene så langt er positive.

Det må legges til grunn at Ofofbanen har en mer krevende geometri og linjeføring enn Malmbanan.

På Ofofbanen skal avstand mellom svillene være 520 mm. Dette vil medføre en bedre lastfordeling.

Det må utføres målrettet vedlikehold i nødvendige frekvenser for opprettholdelse av sporkvalitet.

### Innledning

I forbindelse med utredning for framtidig aksellast på 35.00 tonn på Ofofbanen har betongsviller blitt vurdert.

Foruten hovedrapporten er det følgende dokumenter:

- [1] Serien av norm prEN 13230; særlig prEN 13230-6:2014 (E) vedr. dimensjonering
- [2] Serien av norm UIC CODE 713 R 1st edition, November 2004 vedr. dimensjonering

## Ofofbanen\_Vurdering av valg av betongsville for 35 tonns aksellast

- [3] Dimensionerende böjmoment i sliprar till Banverkets sliperspecifikation; 2007
- [4] Ofofbanen; betongsviller for 35 tonns aksellast (norsk betongsville), april 2018
- [5] Vurdering av sville til Trafikverket (tidligere Banverket) på Malmbanan; april 2018
- [6] Diverse korrespondanse i utveksling av informasjon samlet i en e-melding, mai 2018
- [7] Supplerende informasjon i en e-melding, juli 2018

Det er blitt vurdert om eksisterende norsk betongsville JBV 60 og den svenske betongsvillen TYP SB35F kan benyttes.

Den norske betongsvillen JBV 60 er designet for 30.00 tonn aksellast.

For den svenske betongsvillen er det utført simuleringer under definerte tilstander for 35.00 tonn aksellast og det utføres prøvekjøringer med aksellast på 32.50 tonn på Malmbanan.

I det etterfølgende blir det gitt en vurdering basert på parametere, design, beregninger, simuleringer, tester, verifiseringer og dokumentasjon.

Alternative betongsviller blir også vurdert.

### Parametervurderinger for JBV 60 og TYP SB35F

#### Lengde av sville

Basert på dimensjoneringshierarkiet i [1] og [2] gjelder:

Den norske betongsvillen har en lengde på 2.60 m som er meget gunstig mht. momentfordeling under svillen og dette gir relativt lavt feltmoment.

Den svenske betongsvillen har en lengde på 2.50 m som er mindre gunstig mht. momentfordeling under svillen og dette gir relativt stort feltmoment.

For begge svillene kreves en jevn lastfordeling under skinnestetene. Ensidig lastfordeling i svillemidtd må unngås.

#### Svilleflate mot ballast

Begge betongsvillene har relativt liten flate i underside mot ballast for 35.00 tonn aksellast. Flaten er ca. 6500 mm<sup>2</sup>.

Belastet flate bør være opp mot 7000 mm<sup>2</sup>.

Det vil være nødvendig med svillematter. Svillematter bidrar til en bedre lastfordeling som medfører lavere bøyemomenter på svillene og mindre belastning på ballaststeinene.

#### Vekt av sville

For forholdene på Ofofbanen med kurver med små radier og spor i fallende gradient er vekten av de vurderte betongsvillene lav, ca. 285 kg (JBV 60 og TYP SB35F).

Ideell vekt av sville bør > 320 kg.

#### Antall spenntau i sville

Den svenske betongsvillen TYP SB35F har 14 spenntau og er dermed kraftig spennarmert. Det er særlig lagt inn mye spennarmering i overkant av sville på grunn av stort feltmoment.

## Ofofbanen\_Vurdering av valg av betongsville for 35 tonns aksellast

Det er sannsynligvis færre spenntau i JBV 60 enn i TYP SB35F. En årsak til dette er trolig at feltmomentet for JBV 60 < for TYP SB35F på grunn av svillenes lengde.

### Svilleavstand

På Ofofbanen er avstand mellom svillene 520 mm.

På Malmbanan er avstand mellom svillene 600 mm.

Tettere svilleavstand gir bedre lastfordeling.

### Gjennomførte tester av svillene

#### Svensk betongsville TYP SB35F

Ifølge informasjon i email av 3. mai 2018 fra Trafikverket ved Anders Hammar er det utført tester på den svenske svillen iht. bestemmelsene i EN 13230-2 for 35.00 tonn aksellast.

Dimensjonerende bøyemoment:

- $M_{dr} = 22.00$  kNm
- $M_{dcn} = -14.00$  kNm

Dimensjonerende bøyemoment er fastsatt uten bruk av svillematter. Med svillematter blir momentene trolig lavere.

Belastningskoeffisienter mht. tester for rissdannelse:

- $k_{1s} = 1.80$
- $k_{2s} = 2.50$
- $k_{1d} = 1.50$
- $k_{2d} = 2.20$

Det opplyses videre at det er prøvekjøringer med aksellast på 32.50 tonn. Det er ennå ikke utført prøvekjøringer på 35.00 tonn aksellast.

#### Norsk betongsville JBV 60

For JBV 60 skal det ifølge teknisk spesifikasjon ha blitt utført tilsvarende tester med belastningskoeffisienter for 30.00 tonn aksellast.

Dimensjonerende bøyemoment:

- $M_{k,r,pos} = 16.80$  kNm
- $M_{k,c,neg} = -10.50$  kNm

I [4] er det beregnet at momentet over skinnesete er  $16.86$  kNm  $>$   $16.80$  kNm og momentet i feltmidt er  $-10.50$  kNm som er kravet, under forutsetning av bruk av svillematter for 35.00 tonn aksellast. Uten bruk av svillematter blir momentene større enn dimensjonerende bøyemoment.

Belastningskoeffisienter mht. tester for rissdannelse:

- $k_{1s} = 2.20$
- $k_{2s} = 3.05$
- $k_{1d} = 1.83$
- $k_{2d} = 2.68$

## Ofofbanen\_Vurdering av valg av betongsville for 35 tonn aksellast

For JBV 60 må det gjennomføres en helt ny testserie iht. EN 13230-2 for verifisering av krav og kapasitet for 35.00 tonn aksellast.

Det utføres regelmessige kjøring for 30.00 tonn aksellast på Ofofbanen.

### Sammenligning av belastningskoeffisienter mht. tester for rissdannelse

Det skal kommenteres hvorfor belastningskoeffisientene er forskjellige for TYP SB35F og JBV 60.

Formel for belastningskoeffisientene er:

$$k_{1s} = \frac{1.80 \cdot 0.50}{k_d}; \quad k_{1d} = \frac{1.50 \cdot 0.50}{k_d}; \quad k_{2s} = \frac{2.20 \cdot 0.50}{k_d}; \quad k_{2d} = \frac{2.50 \cdot 0.50}{k_d}$$

Termen  $k_d$  er lastfordelingskoeffisient. For den svenske betongsvillen er  $k_d = 0.50$  og for den norske betongsvillen er  $k_d$  vurdert til å være 0.41.

Ulikheten skyldes i stor grad forskjellig vurdering mht. lastfordelingen langs sporet. Aspektet har sammenheng med svilleavstand lik 0.52 m på Ofofbanen. Svilleavstand på Malmbanan er 0.60 m.

### Feltforsøk, simulering, verifisering

#### Svensk betongsville TYP SB35F

Det foreligger dokumentasjon på tester i spor for aksellaster opp mot 27.00 – 28.00 tonn i Sverige. Videre er det utført en simulering for aksellast på 35.00 tonn med utgangspunkt i utviklet modell og erfaring fra testene i spor. Endelig er simplifiserte formler for fastsettelse av kapasitet på bøyemomenter over skinnesete og i feltmidten benyttet [3].

Belastningen på sviller i tilgjengelig spor er målt med akselerometre på svillesidene på de antatt mest belastede lokasjonene. Det har under forsøkene blitt benyttet vogner hvor hjulene har hjulslag og på spor hvor det er sporfeil.

Testene og simuleringsberegningene har ført til en vurdering av momentene på bøyning i trafikk:

- $M_{dr} = 22.00 \text{ kNm}$
- $M_{dcn} = - 14.00 \text{ kNm}$

Ved anvendelse av formelhierarkiet i UIC CODE 713 R 1st edition, November 2004 blir kapasitet på dimensjonerende bøyemomenter for den anvendte betongsville TYP SB35F med de gitte dimensjoner i flate og geometri samt mengde spennarmering beregnet til:

- $M_{dr} = 22.00 \text{ kNm}$  (bøyemoment over skinnesete)
- $M_{dcn} = - 14.00 \text{ kNm}$  (bøyemoment i svillemidten)

Det norske prosjektet har uttrykt bekymring vedr. benyttelse av formel 4.3 i UIC for beregning av dimensjonerende feltmoment. I mail av 3. juli 2018 svarer Anders Hammar fra Trafikverket:

Sitat begynnelse:

«Formel 4.3 i UIC är mycket riktigt baserat på empiriske data. Formeln ger helt enkelt ett uttryck för hur man kan välja momentfördelning längs slipern och få en bra funktion i spår. De

*analyser som är gjorda med DIFF visar vilka faktiska moment som genereras i en sliper vid valda tvärsnitt (slipergeometri).*

*Formeln i UIC är således en guide för val sliperdesign medan DIFF är en analys av en explicit sliperdesign.*

Sitat slutt

Ovennevnte forklaring bør lukke usikkerheten i anvendelse av formel 4.3 i UIC CODE 713 R 1st edition, November 2004.

### Norsk betongsville JBV 60

Det er utført dimensjonering iht. prEN 13230-6:2914 (E) for aksellast på 30.00 tonn.

For JBV 60 er det ikke utført feltforsøk i spor. Det er heller ikke utviklet simuleringsprogram og utført simuleringer for verifisering.

Det har i noen anledninger blitt drøftet å installere en smartsville i sporet. Men dette er ikke blitt gjennomført.

### Vurderinger

Det foreligger en langt mer omfattende dokumentasjon for den svenske betongsvillen TYP SB35F enn for den norske betongsvillen JBV 60.

Ut fra ovennevnte gjennomgang bør TYP SB35F velges framfor JBV 60.

### Konsekvenser for valg av TYP SB35F

Med utgangspunkt i sporgeometri med små kurveradier og fallende gradient på 15 – 17 promille for linjeføringen på Ofofbanen kan den lave vekten på ca. 285 kg og til dels flate i underkant sville < 7000 mm<sup>2</sup> føre til anstrengende belastning på sporkonstruksjonen ved framføring av 35 tonn aksellast i bremset tilstand fra svenskegrensen og ned til Narvik havn.

Det oppstår betydelige krefter på sporkonstruksjonen

- Vertikalt
- Horisontalt
- Langsgående

Den globale nedbrytning av overbygningen vil trolig skje hurtigere enn for en tyngre sville med større flate i underkant.

Målrettet vedlikehold i definerte frekvenser vil være nødvendig.

Ideelt bør svillevekt være > ca. 320 kg og svilleflate mot ballast bør være opp mot 7000 mm<sup>2</sup>.

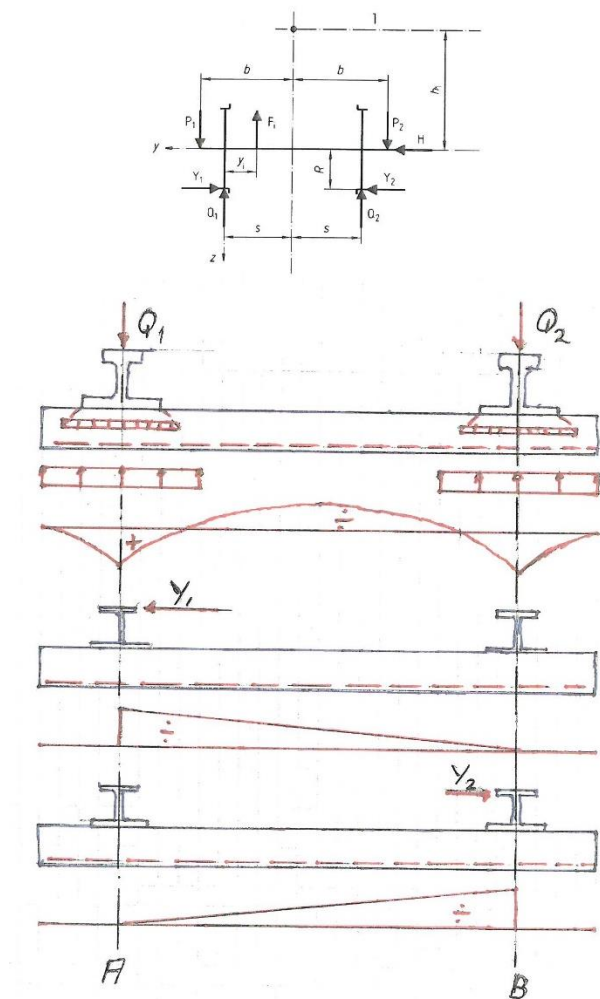
Det er observert utglidning av mellomleggsplater mellom skinne og sville i befestigelsen som trolig skyldes høy traksjon i forbindelse med igangsetting av tunge tog. Det er dermed viktig at fjærene utøver høy spennkraft; også ved slitte komponenter.

Det er mulig å anvende halvrammesviller (HDS) med dobbel befestigelse. En slik sville vil trolig ikke rotere om langsgående akse; en situasjon som også er blitt observert for eksisterende sviller.

RAIL.ONE har betongsviller for 36 tonn som ville egnet for bruk på Ofofbanen.

## Horisontale krefter i betongsville

I kurver med små radier oppstår laterale krefter på skinnehodet. Det er en betydelig momentarm fra topp skinnehode til nøytralakse i betongsville som gir et moment på betongsvillen. Momentarmen er i området 0.25 m til 0.30 m.



Det er et spørsmål hvordan denne kraften med tilhørende moment blir tatt opp i overbygningen. Normene UIC CODE 713 R 1st edition, November 2004 og prEN 13230-serie :2014 (E) omfatter ikke horisontale krefter.

Det legges trolig til grunn at den laterale kraft blir tatt opp i ballasten ved ballastskuldrene iht. Prud' Hommes formel og at momentet neglisjeres.