

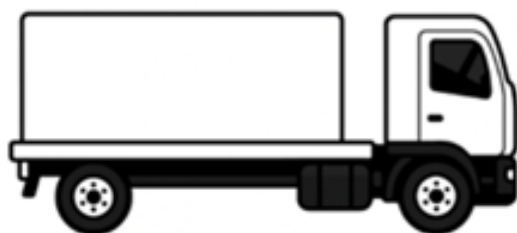
VegDim - Analyse av data fra WIM (Weigh-In-Motion)

Trafikkbelastning ved dimensjonering av vegoverbygninger

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 1092

20 tonn tilsvarer ESAL = 2.0



10 tonn

10 tonn

$$ESAL = \left(\frac{10}{10}\right)^4 + \left(\frac{10}{10}\right)^4 = 2.0$$

20 tonn tilsvarer ESAL = 3.1



13 tonn

7 tonn

$$ESAL = \left(\frac{13}{10}\right)^4 + \left(\frac{7}{10}\right)^4 = 3.1$$

Tittel

VegDim - Analyse av data fra WIM (Weigh-In-Motion)

Undertittel

Trafikkbelastning ved dimensjonering av vegoverbygninger

Forfatter

Leif Jørgen Bakløkk

Avdeling

Teknologi Drift og vedlikehold

Seksjon

Vedlikehold og utbedring

Prosjektnummer

C13480

Rapportnummer

1092

Prosjektleder

Brynhild Snilsberg

Godkjent av

Rabbira Garba Saba

Emneord

VegDim, Trafikkklaster, Tunge kjøretøy, Veiing i fart, WIM, Dimensjonering av vegoverbygninger

Sammendrag

FOUI-programmet VegDim (2018-2024) har hatt som mål å utvikle og ta i bruk et ME-system for dimensjonering og analyser av vegoverbygninger. Dette vil gi oss mulighet til å beregne prognoser for tilstandsutviklingen basert på nedbrytning pga. klima og trafikkbelastning.

Denne rapporten beskriver hvordan vektdata fra WIM-systemer registreres og analyseres, samt hvordan disse dataene kan benyttes i mekanistisk-empiriske dimensjoneringssystemer.

Title

VegDim - Analysis of data from WIM (Weigh-In-Motion)

Subtitle

Characterisation of traffic loads in pavement design

Author

Leif Jørgen Bakløkk

Department

O&M Technology

Section

Maintenance and Upgrading Support

Project number

C13480

Report number

1092

Project manager

Brynhild Snilsberg

Approved by

Rabbira Garba Saba

Key words

VegDim, Traffic loads, Heavy vehicles, Weigh-in-Motion (WIM), Pavement design

Summary

VegDim (2018-2024) has been an R&D program conducted by NPRA aimed at developing and implementing an ME (Mechanistic-Empirical) system for the design and analysis of road pavements. Such system will provide the possibility to predict pavement deterioration caused by traffic and climatic loading.

This report describes how axle load data from WIM-systems is recorded and analyzed and how this data can be used in ME pavement design systems.



Forord

VegDim (2018-2024) har vært et FoUI-program i Statens vegvesen der målet var å utvikle et digitalt system for dimensjonering og analyser av vegoverbygninger basert på tilstandsutvikling. Dette er et mekanistisk-empirisk (ME) dimensjoneringssystem som vil gi oss mulighet til å beregne prognoser for tilstandsutvikling og levetid basert på nedbrytning pga klima- og trafikkbelastning.

Hovedleveransen fra FoUI-programmet er et nytt dimensjoneringssystem (dataverktøy) og en dimensjoneringspraksis der en har større fleksibilitet og mulighet til å dokumentere konsekvenser av ulike valg av materialer og lagtykkelser i vegbygging og vedlikehold.

Et ME-dimensjoneringssystem, som gir dokumentasjon på tilstandsutviklingen og levetiden til vegoverbygningen, vil gi et mye bedre beslutningsgrunnlag ved planlegging av veger. Dette vil gi grunnlag for optimalisert forvaltning av vegnettet (livsløpskostnader) og bedre langsiktige vedlikeholdsplaner. Ved bruk av dette verktøyet kan man også ta hensyn til miljø ved planlegging, bygging og vedlikehold av veger. Dette gjør at vi på en bedre måte kan oppnå reduksjon i energiforbruk og klimagassutslipp, som vil bidra til å oppnå nasjonale klimamål.

Denne rapporten gir en innføring i hvordan vektdata for tunge kjøretøy registreres og bør analyseres for å få de parameterne som benyttes i mekanistisk-empiriske dimensjoneringssystemer. God informasjon om belastningen på den aktuelle vegstrekningen er helt avgjørende for riktig dimensjonering og beregning av vegens tilstandsutvikling.

Flere fagpersoner fra ulike enheter i Statens vegvesen har bidratt med grunnlagsdata eller ved gjennomføringen av analysene som ligger til grunn for denne rapporten:

Jorunn Riddervold Levy (ToS ITS Teknologi) – Databehandling, programmering og WIM-kompetanse.

Johan Olof Wåhlin (ToS ITS Teknologi) – Databehandling og programmering.

Nils André Torsteinsen (TK Fag Utekontroll) – Grunnlagsdata fra WIM.

Heine Andreas Arntzen Toftegaard (ToS Veglister og dispensasjon spesialtransport) – Bridge-WIM data, skaffet til veie i 74-tonns prosjektet.

I tillegg har Stine Sonen Tveit (ToS ITS Teknologi) bidratt med koordinering av dataanalysene og studentene Anders Stubberud, Lars Røste og Tilde Veie har gjennom sine sommerjobber bidratt med databearbeiding.

Vi takker alle for godt samarbeid og gode bidrag.

Trondheim, oktober 2025

Leif Jørgen Bakløkk

Innhold

Forord	1
Sammendrag	3
1. Innledning.....	4
2. Trafikkbelastning – beregningsgrunnlag	5
Beregningsgrunnlaget i N200 Vegbygging	5
Beregningsgrunnlaget i det svenske regelverket	6
Trafikkbelastning i ERAPave PP	8
Forskjeller på norsk og svensk metode for beregning av «Truck factor»	8
3. WIM – registreringer	10
Registreringsutstyr og data	10
Datagrunnlaget i analysen.....	12
Nøyaktighet og kalibrering av WIM – registreringer.....	13
4. Resultater	17
Innledende analyse	17
Aksellaster og totalvekter.....	22
Vektregistreringer med Bridge-WIM i Norge	26
Korrigeringsfaktor for forskjellige hjulkonfigurasjoner	28
5. Oppsummering, evaluering og anbefalinger.....	30
Dimensjonerende trafikkbelastning i N200.....	30
Behovet for vektdata og informasjon om B-faktorer	30
Definisjon av ÅDTT	31
Sammenligning med svenske registreringer	32
6. Referanseliste	33
Bilag 1: Eksempler på beregning av ESAL fra NVF rapport 08/2008 /3/	34

Sammendrag

Trafikkmengde og vekt for kjøretøyene er viktig informasjon for både planlegging og drift og vedlikehold av veger. For å ha mulighet til å kunne optimalisere dimensjoneringen av vegoverbygningene er det derfor avgjørende å ha god oversikt over kjøretøyenes vektdata (aksellaster og antall aksler). Denne rapporten gir en innføring i hvordan vektdata fra WIM-systemer (Weigh-In-Motion) registreres og analyseres, og hvordan disse dataene kan benyttes i mekanistisk-empiriske dimensjoneringsystemer for vegoverbygninger. Målet er å forbedre beslutningsgrunnlaget for vegplanlegging og bidra til optimalisert forvaltning og redusert miljøbelastning.

I det norske dimensjoneringsystemet for vegoverbygninger, beskrevet i N200, benyttes faktorene C og E til å angi belastningen fra tungtrafikken. C angir gjennomsnittlig antall akslinger og E angir gjennomsnittlig nedbrytende effekt per aksel for de tunge kjøretøyene. I vegnormalen er det imidlertid ikke beskrevet hvordan aksegrupper (boggiaksler, trippelaksler osv.) skal behandles ved beregning av nedbrytende effekt. Derfor er det i denne analysen valgt å benytte samme beregningsmetode som i Sverige ved behandling av nedbrytende effekt fra ulike akselgrupper.

I Sverige beregnes en B-faktor som angir relativ nedbrytende effekt for de tunge kjøretøyene. Basert på erfaringene fra denne analysen anbefales det at vi i Norge også går over til B-faktor som på flere måter vil være både enklere og ryddigere enn å beholde C- og E-faktorene vi i dag benytter.

Ved ME-dimensjonering benyttes i dag en gjennomsnittlig B-faktor («Truck factor») på 1,02 som er basert på normalverdiene for C og E i N200. Analysene viser at denne faktoren i realiteten varierer fra ca. 0,5 til 2,0. Bedre dokumentasjon av belastningen fra de tunge kjøretøyene vil derfor gi oss mulighet til bedre optimalisering av vegoverbygningene og gi betydelige gevinster både ved bygging og drift og vedlikehold.

Ved trafikkregistreringer i Norge registreres ÅDTT som kjøretøy med lengde over 5,6 meter. Dette medfører en betydelig reduksjon i B-faktor (relativ nedbrytende effekt) spesielt på noen veger i sommermånedene fordi mange lette kjøretøy (bobiler, varebiler, minibusser og personbiler med henger eller campingvogn) registreres som tunge kjøretøy. Utenom slitasje på asfaltdekkene bidrar disse kjøretøyene svært lite til nedbrytning av vegoverbygningene.

Det anbefales derfor at grensen for lengdeklassifiseringen av tunge kjøretøy økes fra 5,6 til 7,5 meter. En vil da oppnå et mer reelt skille på at alle kjøretøyene som registreres som tunge også bidrar til nedbrytningen av vegene. Dette vil også gi bedre samsvar med kjøretøyforskriften og vegnormalenes definisjon av ÅDTT samt tilsvarende grense i Sverige.

Videre fremover er det behov for bearbeiding og systematisering av alle tilgjengelige vektdata, slik at oppdaterte B-faktorer blir tilgjengelig for alle som planlegger/prosjekterer veger. Disse faktorene bør tilgjengeliggjøres sammen med andre trafikkdata og angis for hver enkelt trafikklenke (fra kryss til kryss). WIM er imidlertid kostbare installasjoner og er teknisk krevende både ved installasjon og ved drift og vedlikehold, og vi vil ikke kunne ha mange slike installasjoner på vegnettet i Norge. Det må derfor også utvikles et system der en beregner B-faktor ut ifra trafikksammensetningen (lengdeklasser eller kjøretøyklasser) på den enkelte veglenke. I det videre arbeidet bør det derfor legges vekt på å få best mulig oversikt over B-faktor for ulike lengdeklasser/kjøretøyklasser for ulike vegtyper og trafikksammensetninger.

1. Innledning

Belastningen fra de tunge kjøretøyene er den klart viktigste trafikkrelaterte faktoren for nedbrytning av vegnettet. Antall tunge kjøretøy (ÅDTT) registreres i Norge ut ifra lengden på kjøretøyene. Dette gir imidlertid ikke god nok informasjon om den reelle vekten og belastningen kjøretøyene påfører vegnettet.

For beregning av tilstandsutviklingen på vegnettet er det behov for informasjon om vekt og antall aksler for de tunge kjøretøyene. Slike data er tilgjengelig fra WIM-installasjoner (Weigh-In-Motion) og denne rapporten gir en oversikt over det innledende arbeidet som er gjort med analysering av data fra noen norske WIM-installasjoner. Formålet med rapporten er hovedsakelig å forklare hvordan parameterne som benyttes for karakterisering av belastningen fra de tunge kjøretøyene skal beregnes.

De norske reglene for hvordan trafikkbelastningen skal beregnes ved dimensjonering av vegoverbygninger er gitt i N200 Vegbygging, men både beregningsgrunnlaget og trafikksamsetningen som dette baserer seg på er gammelt og utdatert i forhold til kjøretøyparken som benyttes i dag. For å få beregnet parameterne som inngår i formelen for trafikkbelastning ved dimensjonering av veger har det derfor vært nødvendig å støtte seg på beregningssystemet som benyttes i Sverige.

Rapporten gir en innføring i beregningsgrunnlaget for trafikkbelastning i Norge og Sverige samt en oversikt over ulike WIM-systemer og de installasjonene som er benyttet i denne innledende analysen. Resultatene fra beregningene er sammenlignet med tilsvarende beregninger i Sverige og med forutsetningene som er lagt til grunn i N200 Vegbygging. Rapporten gir også anbefalinger for hva som bør gjøres av endringer i vegnormalene og hvordan ÅDTT (basert på lengde) kan defineres slik at det blir bedre samsvar mellom det som registreres som tunge kjøretøy og hva som er tunge kjøretøy.

Det langsiktige målet er å fremskaffe dokumentasjon på vekt-belastningen for hele vegnettet i Norge. Å nå dette målet innebærer et relativt stort arbeid, og denne analysen er et første steg og grunnlag for å nå dette målet. WIM-installasjoner er imidlertid kostbare og krevende både ved installasjon og drift. Derfor vil vi nok aldri få mange WIM-systemer på det norske vegnettet. Vi har imidlertid flere hundre trafikktelepunkter som gir informasjon om lengde og kjøretøyklasser. På sikt bør det derfor utvikles en metode der en beregner (estimerer) de parameterne som gir informasjon om vekten av kjøretøyene ut ifra lengde/kjøretøyklasse og vegtype. For å kunne gjøre slike beregninger er det imidlertid behov for relativt store mengder WIM-data over lengre tidsperioder og ulike typer veger.

Arbeidet med denne analysen er initiert gjennom FOUI-programmet VegDim, der det utvikles et nytt verktøy for prosjektering og beregning av nedbrytning av veger. Gode trafikkdata er her en forutsetning for å kunne beregne pålitelig tilstandsutvikling.

Hittil har WIM-registreringene i Norge hovedsakelig bare blitt benyttet til utvelgelse (screening) av kjøretøy til vektkontroll. Fremover ser vi at disse dataene vil kunne gi svært verdifull informasjon også for flere andre anvendelser/fagområder:

- Ved dimensjonering og beregning av tilstandsutvikling for vegoverbygninger.
- Ved dimensjonering og beregning av belastningsgrad for bruer og konstruksjoner.
- Som grunnlag for regulering av aksellaster og totalvekt av kjøretøy.
- Analyser av godstransporter.

2. Trafikkbelastning – beregningsgrunnlag

Beregningsgrunnlaget i N200 Vegbygging

Ved dimensjonering av vegoverbygninger i N200 regnes trafikkbelastningen om til totalt antall ekvivalente 10 tonns aksler som vil belaste det aktuelle kjørefeltet i dimensjoneringsperioden, som er satt til 20 år. N beregnes ut ifra følgende formel:

$$N = 365 \cdot C \cdot E \cdot \text{ÅDTT} \cdot f \cdot \frac{(1,0 + 0,01p)^{20} - 1}{0,01p}$$

- C er gjennomsnittlig antall aksler per tungt kjøretøy og er satt lik 2,4 i normalen.
- E er gjennomsnittlig ekvivalensfaktor for akslene på tunge kjøretøy. E beregnes ut ifra vekt på de enkelte akslene og deres bidrag til nedbrytning av vegen sammenlignet med en 10 tonns aksel (ut ifra 4. potensregelen). I dagens vegnormal er E=0,427 for veger med tillatt aksellast på 10 tonn.
- ÅDTT er gjennomsnittlig antall tunge kjøretøy per døgn i åpningsåret for vegen. Alle kjøretøy med lengde over 5,6 meter inngår ved registrering av ÅDTT.
- f er fordelingsfaktor for tungtrafikken i kjørefeltene. Beregnes ut fra mengde tungtrafikk på dimensjonerende kjørefelt i forhold til total mengde tungtrafikk over alle kjørefelt.
 - 1-feltsveg, f = 1,0
 - 2-feltsveg, f = 0,50
 - 4-feltsveg, f = 0,45
 - 6-feltsveg, f = 0,40
- p er forventet årlig trafikkvekst for tunge kjøretøy (%).

I henhold til kjøretøyforskriften er tunge kjøretøy definert som motorvogn med tillatt totalvekt over 3,5 tonn og vegnormalens definisjon av ÅDTT samsvarer med dette: ÅDTT – det totale antall kjøretøy (med registrert/tillatt totalvekt > 3,5 tonn) som passerer et snitt av en veg i løpet av ett år, dividert med 365.

Ved trafikkregistrering er det i praksis ikke mulig å bestemme hvilke kjøretøy som er registrert som tunge eller lette kjøretøy. Derfor er det her innført en klassifisering ut ifra lengden på kjøretøyene og alle kjøretøy med lengde over 5,6 meter regnes som et tungt kjøretøy. I kapittel 5 er det foretatt en evaluering av denne klassifiseringen.

Tabell 1 viser ekvivalensfaktor for aksellaster fra 1 til 15 tonn og aksellastfordelingen som er lagt til grunn ved beregning av gjennomsnittlig E-verdi i N200. Figur 1 viser en illustrasjon av disse verdiene for en 10 tonns veg.

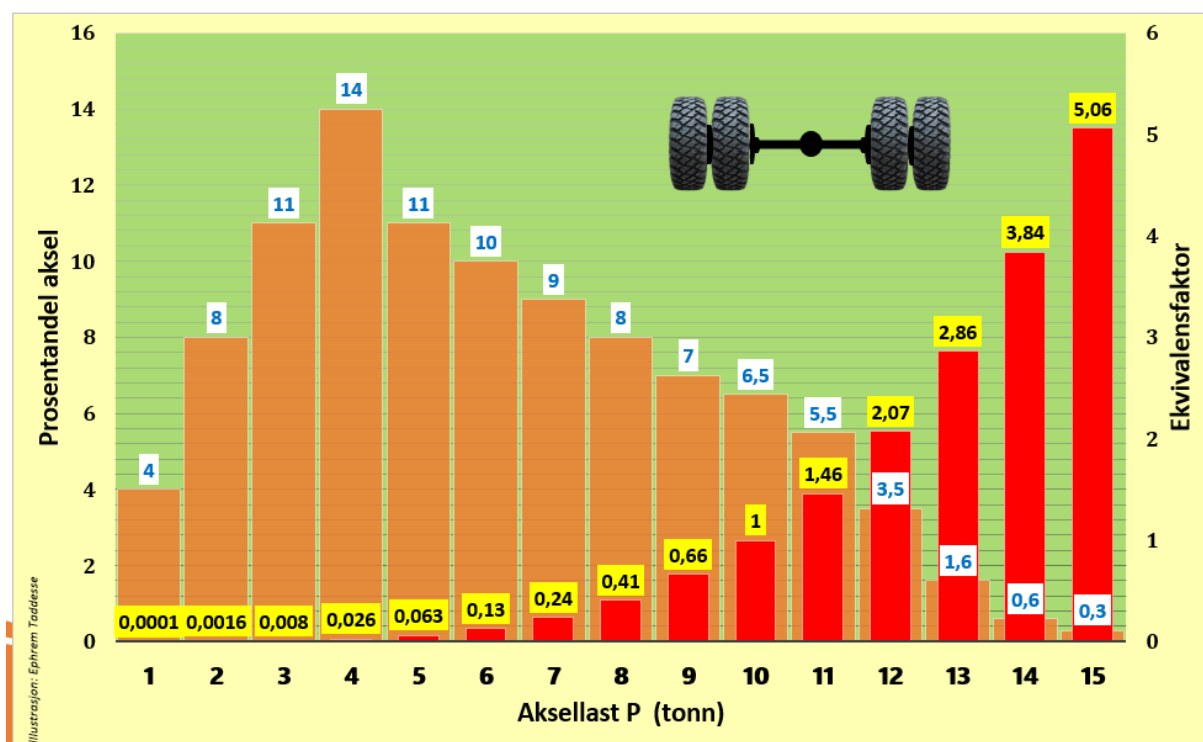
Tabell 1: Ekvivalensfaktor og antatt normal aksellastfordeling i N200 Vegbygging.

Aksellast P (tonn)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ekvivalensfaktor	0,0001	0,0016	0,008	0,026	0,063	0,13	0,24	0,41	0,66	1,00	1,46	2,07	2,86	3,84	5,06
Aksellastfordeling for en 8 tonns veg (%)	6	14	20	18	11	7	6	5,5	5	3,5	2	1,2	0,5	0,2	0,1
Aksellastfordeling for en 10 tonns veg (%)	4	8	11	14	11	10	9	8	7	6,5	5,5	3,5	1,6	0,6	0,3

Den matematiske beskrivelsen av hvordan ulike aksellaster bidrar til nedbrytning av veger bygger som nevnt på fjerdepotensregelen. Den ble utviklet etter AASHO-forsøkene i USA og er den mest brukte og anerkjente sammenhengen mellom aksellast og nedbrytning av dekke/overbygning. En

beskrivelse av ulike nedbrytningsmekanismer og hvordan kjøretøyene bidrar til denne nedbrytningen inkludert fjerdepotensregelen er gitt i NVF rapport 08/2008 «Road wear from Heavy Vehicles» /3/.

Hvor godt verdiene for C, E og aksellastfordelingen i N200 Vegbygging stemmer overens med de verdier vi nå har registrert er vist i kapittel 4. En evaluering av beregningsgrunnlaget og de parameterne som benyttes er gitt i kapittel 5.



Figur 1: Illustrasjon av aksellastfordeling (brun-oransje søyler) og ekvivalensfaktor (røde søyler) for en 10-tonns veg.

Ekvivalensfaktoren viser at aksellaster under 5-6 tonn gir svært lite bidrag til nedbrytningen, men de utgjør en stor del av trafikkgrunnlaget som inngår i ÅDTT slik den er definert i Norge.

N200 Vegbygging gir ingen beskrivelse av hvordan ulike akselgrupper (boggi-, trippelaksel osv.) skal behandles ved beregning av N. Siden de fleste tunge kjøretøy i dag har mer enn bare enkeltaksler, har vi derfor benyttet det svenske systemet for å beregne relativ nedbrytende effekt for ulike akselgrupper.

Internasjonalt benyttes ofte sum ESALS (Equivalent Single Axle LoadS) over dimensjoneringsperioden i stedet for N, men ofte med litt andre forutsetninger (trafikkgrunnlag, dimensjoneringsperioder osv.).

Beregningsgrunnlaget i det svenske regelverket

I det svenske regelverket er det beskrevet hvordan både enkeltaksler og ulike akselgrupper skal behandles ved beregning av relativ nedbrytning i forhold til en 10 tonns standardaksel (ESAL). Også her benyttes fjerdepotensregelen og vekten for hver akselgruppe relateres til dimensjonerende (tillatt) last for den aktuelle akselgruppen etter følgende formel:

$$ESAL = \sum_{n=1}^i \left(\frac{w_i}{10} \right)^4 \cdot k_i$$

i = antall enkeltaksler eller akselgrupper (boggi, trippelaksler osv.).

w_i = vekt (tonn) av enkeltaksler eller akselgrupper.

k_i = reduksjonsfaktor for ulike akselgrupper.

$k = 1$ for enkeltaksler.

$k = (10/18)^4 = 0,0952$ for boggiaksler.

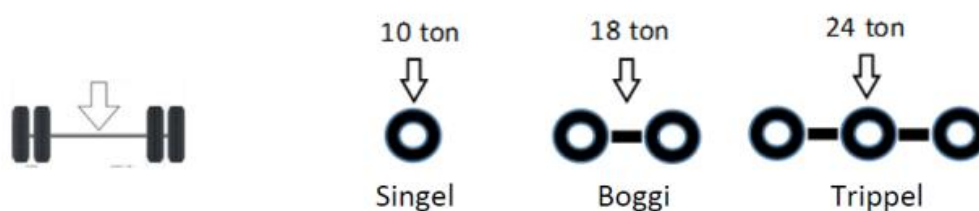
$k = (10/24)^4 = 0,0302$ for trippelaksler.

Beregningsmetoden er beskrevet i Trafikverkets rapporter /6/ og /7/ samt i rapport fra NVF-komite «Vehicles and Transports» /3/.

Med denne beregningsmetoden vil relativ nedbrytende effekt fra boggiaksler på 18 tonn og trippelaksler på 24 tonn tilsvare en standard enkeltaksel, slik at både en enkeltaksel på 10 tonn, en boggiaksel på 18 tonn og en trippelaksel på 24 tonn alle får ESAL=1. Eksempler på beregning av ESAL for kjøretøy med forskjellige akselgrupper og vekt er vist i bilag 1.

Denne beregningsmetoden gir mindre relativ nedbrytende effekt for akselgrupper enn om hver aksling ble behandlet som en enkeltaksel og relatert til tillatt vekt på 10 tonn. For eksempel så vil to aksler på 9 tonn ha ESAL=1,31 når de beregnes som to enkeltaksler $((9/10)^4 + (9/10)^4)$, og ESAL=1,0 når de beregnes som en boggiaksel $((18/10)^4 \cdot (10/18)^4)$.

I figur 2 er det vist en illustrasjon og tabell med de viktigste forutsetningene som er lagt til grunn i beregningene.



ESAL-Axelgrupps- typ	Beteckning ESAL- axelgruppstyp	Maximalt avstånd a mellan axlar [m] i en ESAL-axelgrupp	Dimensionerande axelgrupplast Adim [ton]
Singel _{ESAL}	S _E	-	10 ton
Boggi _{ESAL}	B _E	$a < 1,8 \text{ m}$	18 ton
Trippel _{ESAL}	T _E	$a_x < 1,8 \text{ m}$	24 ton
Fyraxlig _{ESAL}	4A _E	$a_x < 1,8 \text{ m}$	30 ton
Femaxlig _{ESAL}	5A _E	$a_x < 1,8 \text{ m}$	35 ton
Sexaxlig _{ESAL}	6A _E	$a_x < 1,8 \text{ m}$	41 ton
Sjuaxlig _{ESAL}	7A _E	$a_x < 1,8 \text{ m}$	46 ton

Figur 2: Grunnlag for beregning av ESAL for ulike akselgrupper i det svenske regelverket /6/.

I Sverige beregner en ikke faktorene C og E som i Norge. Her beregner en først ESAL (B-faktor) for hvert enkelt kjøretøy etter følgende formel:

$$B_{fordon} = \sum_{i=1}^j \left(\frac{\text{axelvikt}_i}{\text{laglig last}_i} \right)^4$$

i = enkeltaksling eller akselgruppe.

«laglig last» er lovlig tillatt last per enkeltaksling eller akselgruppe («Dimensionerande axelgrupplast Adim» i figur 2).

For å finne B-faktoren for en veg eller et prosjekt, beregnes gjennomsnittlig nedbrytende effekt, etter følgende formel:

$$B = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n B_{fordon,j}$$

n = antall kjøretøy som trafikkerer vegen i beregningsperioden.

For praktisk dimensjonering har de i Sverige også beskrevet en mulighet til å korrigere B-faktoren for vegtype, kjørefeltbredde og hastighet. Denne korrigeringen har ingen kobling til kjøretøyene og er derfor ikke tatt med i denne analysen.

Trafikverket har nå også innført en korrigeringsfaktor Fw basert på relativ nedbrytende effekt for kjøretøyenes hjul typer. Denne er beskrevet i kapittel 4 – Vektregistreringer med Bridge-WIM i Norge.

Trafikkbelastning i ERAPave PP

Med programmet ERAPave PP (Elastic Response Analysis of Pavements – Performance Predictions) kan man beregne nedbrytning og levetid av veger, basert på belastning fra trafikk og klima. Programmet er utviklet av VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut) i Sverige og en norsk Web-versjon av programmet er under utvikling.

I ERAPave PP benyttes enten ESALS (B-faktor) eller ALS (Axle Load Spectra) fra WIM-registreringer som input for trafikkbelastningen. ALS er det samme som aksellastfordeling (ref. figur 1) og angir prosentvis fordeling av tyngden på enkeltaksler eller akselgrupper. Foreløpig er det hovedsakelig ESALS som benyttes og for praktisk dimensjonering vil det nok være ESALS som vil bli benyttet i mange år fremover. Aksellastfordelinger vil på sikt bli et hjelpemiddel der en har pålitelige data og ønsker en så nøyaktig beregning som mulig.

Ved bruk av ESALS som inngangsparameter for trafikkbelastningen skal det i ERAPave PP angis en «Truck factor» som er det samme som B-faktoren i det svenske dimensjoneringssystemet. Ved bruk av de norske faktorene C og E til å beregne «Truck factor» vil en få en litt annen verdi enn ved beregning av B-faktor etter svensk metode. Forskjellene på de to systemene er forklart nedenfor.

Forskjeller på norsk og svensk metode for beregning av «Truck factor»

Den største forskjellen på det norske og det svenske beregningssystemet er at en i Sverige beregner gjennomsnittlig nedbrytende effekt per kjøretøy (B-faktor) mens en i Norge har to faktorer, C (gjennomsnittlig antall akslinger) og E (gjennomsnittlig nedbrytende effekt per aksel) som multipliseres. I utgangspunktet burde B-faktor og C · E gi samme resultat, men ulike forhold gjør at det likevel blir forskjell.

I det norske dimensjoneringssystemet er det ikke definert hvordan ulike akselgrupper skal behandles ved beregning av E-faktoren. Som nevnt har vi derfor benyttet samme metode som i Sverige ved beregning av ESALS for ulike akselgrupper.

E er beregnet som gjennomsnittlig ESALS etter fjerdepotensregelen der alle enkeltaksler og akselgrupper inngår, dvs. $\sum \text{ESALS (enkeltaksler + boggiaksler + trippelaksler + andre)}$

akselkonfigurasjoner) / antall (enkeltaksler + boggiaksler + trippelaksler + andre akselkonfigurasjoner).

Derfor blir det en systematisk forskjell på C · E og B-faktoren slik som vist i utledningen nedenfor:

$$B = \frac{\sum ESALS}{n_{kjt}}$$
$$C = \frac{n_{ax}}{n_{kjt}}$$
$$E = \frac{\sum ESALS}{n_{grp}}$$
$$C * E = \frac{n_{ax}}{n_{kjt}} * \frac{\sum ESALS}{n_{grp}} = \frac{n_{ax}}{n_{grp}} * \frac{\sum ESALS}{n_{kjt}} = \frac{n_{ax}}{n_{grp}} * B$$

n_{ax} = antall akslinger

n_{grp} = antall akselgrupper (dvs. enkeltaksler + boggiaksler + trippelaksler osv.)

n_{kjt} = antall kjøretøy

Denne forskjellen mellom C · E og B utgjøres altså av en faktor lik forholdet mellom alle aksler på kjøretøyene dividert på antall akselgrupper (dvs. enkeltaksler + boggiaksler + trippelaksler osv.). Dette forholdet vil alltid være større enn 1 og som vist i kapittel 4 ligger det på ca. 1,4 for trafikkgrunnet i denne analysen.

Det vil være mulig å unngå denne forskjellen ved å dividere på antall akslinger (n_{ax}) i stedet for antall akselgrupper (n_{grp}) i formelen for beregning av E. Siden det ble valgt å behandle alle akselgrupper som en enhet ble det innenfor rammen for denne analysen imidlertid ikke mulighet til å gjennomføre en beregning av dette her.

Et annet forhold som bidrar til forskjell på «Truck factor» beregnet etter norsk eller svensk metode er hvilke kjøretøy som inngår i beregningen av tunge biler. I Norge klassifiseres ÅDTT som kjøretøy med lengde over 5,6 meter. I Sverige benyttes WIM-registreringene til å skille tunge og lette kjøretøy, og her inngår kun kjøretøy over 3,5 tonn i beregningen av B-faktor. Dette medfører at det er flere lette kjøretøy inkludert i den norske klassifiseringen av ÅDTT (for eksempel bobiler, personbiler med henger eller campingvogn) og som vist i kapittel 4 oppveier dette den metodiske forskjellen.

I kapittel 4 og 5 er det gitt en mer utfyllende forklaring og evaluering av forskjellene mellom disse to beregningssystemene.

Ved beregning av relativ nedbrytende effekt (ESAL) teller vekten for en aksling forskjellig avhengig av om det er en enkeltaksel eller en del av en boggiaksel eller trippelaksel. Derfor blir det litt feil å beregne gjennomsnittlig ekvivalensfaktor (E-verdi) slik det er lagt opp til i det norske dimensjoneringsystemet. Dette skyldes nok at systemet er gammelt og var utviklet i ei tid det var veldig få boggi eller trippelaksler.

Derfor gikk vi i denne analysen etter hvert bort ifra den norske beregningsmetoden med C · E og over til B-faktor. De fleste beregningene i denne rapporten er derfor basert på B-faktor (ESAL).

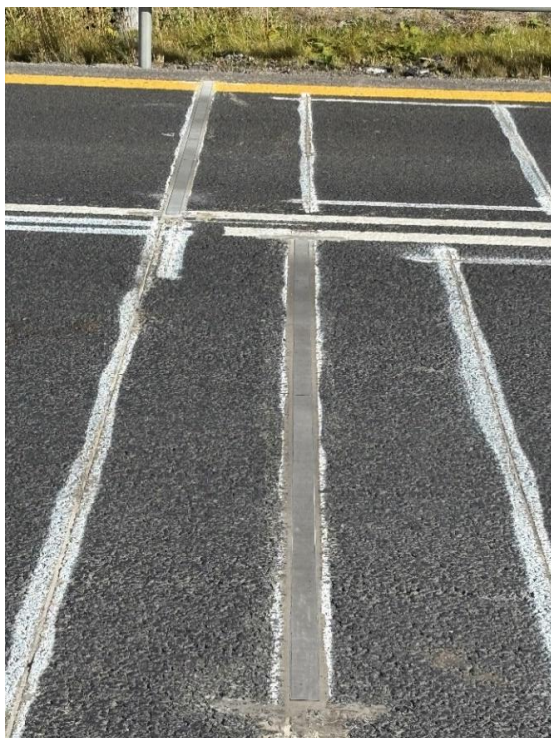
3. WIM – registreringer

Registreringsutstyr og data

Vektregistrering med WIM (Weigh-In -Motion) benyttes til å overvåke og samle inn informasjon om aksellaster og vekt av kjøretøy. De dynamiske kreftene fra kjøretøyene registreres ved vanlig trafikkhastighet og gir grunnlag for beregning av kjøretøyets statiske vekter. Det finnes mange ulike typer WIM-installasjoner, fra instrumenterte plater eller bruer (Bridge-WIM) til forskjellige typer kabler som monteres i vegdekket. I Norge er sensorer med bruk av piezo-elektriske kabler mest benyttet. Måleprinsippet for slike kabler bygger på at den elektriske spenningen i kabelen varierer proporsjonalt med hvor mye strekk eller trykk kabelen utsettes for. Kablene monteres når asfaltdekket er nytt og registrerer kontinuerlig inntil asfaltdekket er så slitt at installasjonen må fornyes. Det er nødvendig med jevnlig kalibrering (minst en gang i året) av slike installasjoner og vanligvis vil kablene fungere inntil spordybden i dekket blir 10 mm.

Bridge-WIM er per i dag tatt i bruk på tre steder i Norge, to ved Elverum og Stange i Innlandet samt på ei bru i Fredrikstad. Bridge-WIM krever ingen inngrep i vegbanen og det er ikke nødvendig å stenge vegen for å installere sensorene. Det mest utfordrende med Bridge-WIM er oftest å finne ei egnet bru der en ønsker å utføre registreringene. Det mest vanlige er å benytte plass-støpte betongkulverter med liten overdekning. Registreringene gjøres ved at det monteres sensorer (strekkmålere/LVDTer) som måler bruas respons på ulike laster. Utstyret monteres for en registreringsperiode på ca. én uke, med kalibrering både ved montering og nedrigging.

I figur 3 er det vist bilder både av WIM-installasjon i et asfaltdekke (registreringsskinne med piezo-elektrisk kabel) og sensorer for Bridge-WIM montert i taket på en betongkulvert.



Figur 3: WIM-registreringsskinner montert i asfaltdekke (E6 Klett) og Bridge-WIM montert i betongkulvert (Elverum, Rv 25 Tangensvingen).

Vektregistrering med WIM-kabler i kjørebaneen gjøres flere steder på vegnettet i Norge, men kvaliteten og tilgjengeligheten av dataene fra ulike registreringer varierer. Det benyttes to forskjellige typer registreringskabler som begge er basert på piezo-elektrisk teknologi, men som har litt forskjellige egenskaper og nøyaktighet. De mest nøyaktige registreringene får en ved bruk av piezo-kvarts kabler som er temperatuavhengig (så lite at det ikke påvirker registreringene i vesentlig grad) og er derfor relativt stabil over tid. Den andre typen kabler er billigere, men laget av piezo-polymer som varierer mer med temperatur og trenger oftere kalibrering for å holde nøyaktigheten på akseptabelt nivå (ca. hver 3. måned). Mer informasjon og erfaringer med ulike WIM-systemer finnes i Statens vegvesen rapport nr. 613 /4/.

Tabell 2 viser en oversikt over antallet installasjoner hvor det er mulig å innhente vektdata. Dataloggere for Automatisk trafikk kontroll (ATK) er ikke utviklet for registrering av vektdata, men sensorene i vegen er av samme type som de som brukes av dedikert WIM-utstyr (piezo-polymer). I 2016 – 2018 ble det gjort en jobb med innhenting og bearbeiding av data fra ATK, publisert i Statens vegvesen rapport 222 “Vehicle weight data from speed enforcement systems” /2/. Både kvaliteten på registreringene, gjennomføring av kalibrering og tilgangen til dataene (personvern) er mer utfordrende ved bruk av ATK til vektregistrering. I tillegg går en nå mer over til ATK-strekningsmåling hvor en registrerer gjennomsnittsfart. Her benyttes annen teknologi, hvor en ikke har muligheten for å ta ut vektdata.

I denne rapporten er det derfor valgt å bare benytte data fra teststrekninger og ett av punktene som divisjon Trafikant og kjøretøy (TK) benytter i sin kontrollvirksomhet.

Tabell 2: Oversikt over antall installasjoner hvor det kan innhentes vektdata.

System	Sensortype	Antall, plassering	Beskrivelse
Teststrekninger	Piezo-kvarts og polymer	E8 Skibotn, E6 Verdal, E6 Mosjøen og E39 Øysand	
Trafikant og kjøretøy (TK)	Piezo-kvarts og polymer	15	Punkter plassert i forbindelse med kontrollstasjoner. Brukes i dag for preselektering av kjøretøy til kontroll. Ett år lagringstid for anonymiserte vektdata.
ATK	Piezo- polymer	Ca. 400	Plasseringer er valgt for fartskontroller.
Bridge-WIM		3 stk.	Midlertidige installasjoner, datainnsamling 1 uke i gangen.

Som nevnt har TK per i dag ca. 15 registreringspunkter som er plassert i forbindelse med kontrollstasjoner. Dataene blir lagret i et eget system som kalles Metabof og anonymiserte data kan lagres inntil ett år. Registreringspunktene er plassert langs hovedvegnettet i Sør-Norge og figur 4 viser hvor de er plassert.



Figur 4: Plassering av TK sine WIM-stasjoner/målinger (2023).

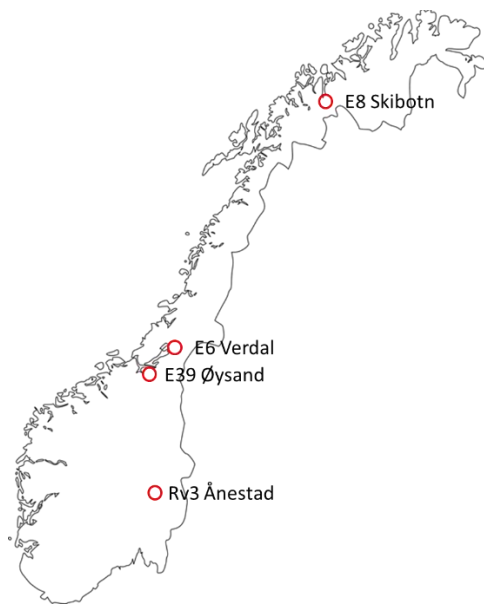
Datagrunnlaget i analysen

Datagrunnlaget i dette innledende analysearbeidet er av kapasitetsmessige årsaker begrenset til fire ulike punkter, se tabell 3. Alle disse installasjonene har piezo-kvarts sensorer og tre av installasjonene er teststrekninger som er opprettet spesielt for å samle data og erfaring med WIM, mens den fjerde installasjonen inngår i TK sitt program for vektkontroll.

Tabell 3: WIM-installasjoner som inngår i analysearbeidet.

WIM-punkt	Sted (Vegreferanse)	Registreringsperiode	ÅDT	Andel tunge (>5,6 m)	Kommentarer
E39 Øysand	EV39 K S1D1 m3011	08.08.2016 – 05.04.2017 + 03.04.2018 – 30.09.2018	13120 (2017)	13 %	Piezo-kvarts
E8 Skibotn	EV8 K S9D1 m11925	01.10.2018 – 30.09.2020	740 (2018)	26 %	Piezo-kvarts
E6 Verdal	EV6 K S86D1 m1385	13.05.2015 – 31.05.2016	14600 (2016)	12 %	Piezo-kvarts
Rv. 3 Ånestad	RV3 K S3D1 m754 SD3 m228	1 okt 2023 til 21 jan 2024	12525 (2023)	16 %	Piezo-kvarts Vest TK-installasjon
Rv. 3 Ånestad	RV3 K S3D1 m6712	1 okt 2023 til 21 jan 2024	13256 (2023)	16 %	Piezo-kvarts Øst TK-installasjon

Lokaliseringen av de ulike punktene er vist i figur 5. På E39 Øysand og E6 Verdal er det montert WIM-sensor bare i en kjøreretning. På E8 Skibotn er det installert WIM-sensorer i begge kjørefeltene, så registreringene her gjelder begge kjøreretningene. På rv. 3 Ånestad er det installert WIM-sensorer et godt stykke før innkjøringen til kontrollstasjonen fra begge sider. Data fra Ånestad er derfor behandlet som to separate punkt, som gjelder for hver sin kjøreretning på rv. 3. Det er ulik ÅDT for Ånestad øst og vest, noe som skyldes at det er kryss/avkjøring imellom de to punktene der sensorene er installert.



Figur 5: Lokalisering av WIM-installasjonene som inngår i analysearbeidet.

Nøyaktighet og kalibrering av WIM – registreringer

WIM-registreringene påvirkes av mange faktorer og vil være beheftet med unøyaktigheter på grunn av mange forskjellige forhold. Dette er både knyttet til vegen (jevnhet, spor, is/snø osv.) og kjøretøyet (fjæringen, bremsing, akselerasjon og sidevind). I tillegg vil slitasje på vegdekket og WIM-sensoren samt temperaturendringer påvirke registreringene. Det er derfor behov for jevnlig kalibrering for å få god kvalitet på dataene.

I COST 323-prosjektet «Weig-in-Motion of Road Vehicles» er det laget et forslag til en standard (pre-standard) som nå brukes i Europa og flere andre land til å vurdere og klassifisere nøyaktigheten til WIM-systemer. Her er det definert syv nøyaktighetsklasser med tilhørende konfidensintervall, som vist i tabell 4.

Tabell 4: Nøyaktighetsklasser med tilhørende konfidensintervall fra COST 323 prosjektet /10/.

Criteria (type of measurement)	Domain of use	Accuracy Classes: Confidence interval width δ (%)						
		A (5)	B+ (7)	B (10)	C (15)	D+(20)	D (25)	E
1. Gross weight	Gross weight > 3.5 t	5	7	10	15	20	25	> 25
Axle load:	Axle load > 1 t							
2. group of axles		7	10	13	18	23	28	> 28
3. single axle		8	11	15	20	25	30	> 30
4. axle of a group		10	14	20	25	30	35	> 35
Speed	V > 30 km/h ⁽¹⁾	2	3	4	6	8	10	> 10
Inter-axle distance		2	3	4	6	8	10	> 10
Total flow		1	1	1	3	4	5	> 5

⁽¹⁾ This condition applies only for the sensors/systems which do not work statically or at very low speed.

For dimensjonering og analyse av infrastruktur (veger og bruer) er det i COST 323 anbefalt å benytte WIM-data med nøyaktighetsklasse B. Dette betyr toleranser på +/- 10 % for totalvekten av kjøretøyet, +/- 13 % for akselgrupper og +/- 15 % for enkeltaksler.

På gode veger og med nylig kalibrerte WIM-systemer er det ikke noe problem å holde seg innenfor denne nøyaktigheten. I tabell 5 er det vist et eksempel på registreringer fra WIM-installasjonen på E6 ved Mosjøen i Nordland. Her er det vist både statiske vekter målt på kontrollstasjon og registrerte vekter ved 5 passeringer av denne installasjonen, rett etter kalibrering. Kjøretøyet som ble brukt ved denne kalibreringen er vist i figur 6.

Tabell 5: Eksempel på registrerte vekter etter kalibrering av WIM-installasjonen på E6 ved Mosjøen høsten 2024.

LANE 2									
Static Weights	7410	9460	9570	7725	7905	7850	19030		49920
RUN	Axle 1	Axle 2	Axle 3	Axle 4	Axle 5	Axle 6	Group 1	Group 2	Gross
1	7495	9240	9320	7820	8215	8095	18560	24130	50185
2	7330	9050	9200	7805	7960	8280	18250	24045	49625
3	7540	9335	9240	7935	7970	8130	18575	24035	50150
4	7565	9330	9060	7900	8230	8185	18390	24315	50270
5	7530	9295	9320	7825	8245	7885	18615	23955	50100
Relative Errors %									
	Axle 1	Axle 2	Axle 3	Axle 4	Axle 5	Axle 6	Group 1	Group 2	Gross
1	1.15	-2.33	-2.61	1.23	3.92	3.12	-2.47	2.77	0.53
2	-1.08	-4.33	-3.87	1.04	0.7	5.48	-4.1	2.41	-0.59
3	1.75	-1.32	-3.45	2.72	0.82	3.57	-2.39	2.36	0.46
4	2.09	-1.37	-5.33	2.27	4.11	4.27	-3.36	3.56	0.7
5	1.62	-1.74	-2.61	1.29	4.3	0.45	-2.18	2.02	0.36



Figur 6: Kjøretøyet som ble benyttet ved kalibrering og kontroll av WIM-installasjonen på E6 ved Mosjøen i 2024.

Tilstanden på WIM-installasjonene bør kontrolleres jevnlig og det må sjekkes at registrerte aksellaster er riktig. Dersom nøyaktigheten på målingene ikke er tilfredsstillende må det gjennomføres en ny kalibrering. Hvor ofte dette må gjennomføres er avhengig av typen sensor. Før hver kalibrering må det sjekkes at det ikke er skader på registreringsenheten i vegdekket og ved behov må det utbedres (limes eller fylles/utjevnes) med monteringsmasse.

For å korrigere systematiske endringer i registreringene på grunn av for eksempel slitasje på vegdekket og registreringsenheten eller snø/is, kan det benyttes en «automatisk» korrigering basert på vekten av frontakselen av semitrailere. Disse akslingene har en vekt på ca. 7 tonn og er relativt lite påvirket av hvor tungt lastet kjøretøyene er, se figur 7. Dette er en metode som ble utviklet i arbeidet med å ta ut vektdata fra ATK /2/.



Figur 7: Eksempel på 6-akslet semitrailer som kan benyttes ved automatisk kalibrering av WIM-installasjoner /2/.

I denne undersøkelsen er median for vekta av frontakselen på 6-akslede semitrailere benyttet til denne korrigeringen. Kun fullastede semitrailere er benyttet, fordi dette gir minst spredning i vekt på frontakselen. Median er bedre enn middelveiden fordi den er mindre påvirket av «outliers» (ekstreme feilregistreringer), spesielt når en har få passeringer av denne typen kjøretøy. For hvert WIM-punkt er median for frontakselen på 6-akslede semitrailere beregnet hvert døgn. Dette er så benyttet til en automatisk flytende korrigering av vekten for de andre akslingene og akselgruppene.

Når det gjelder data fra de 4 installasjonene som er analysert her, så er beregningene automatisk korrigert etter dette opplegget. Målepunktene ble kalibrert rett etter at de var installert, men kontrollen og oppfølgingen av dette i ettertid har vært litt varierende. Vi har derfor ingen dokumentasjon på kvaliteten av disse dataene, men føler oss relativt trygge på at den er innenfor nøyaktighetsklasse B.

4. Resultater

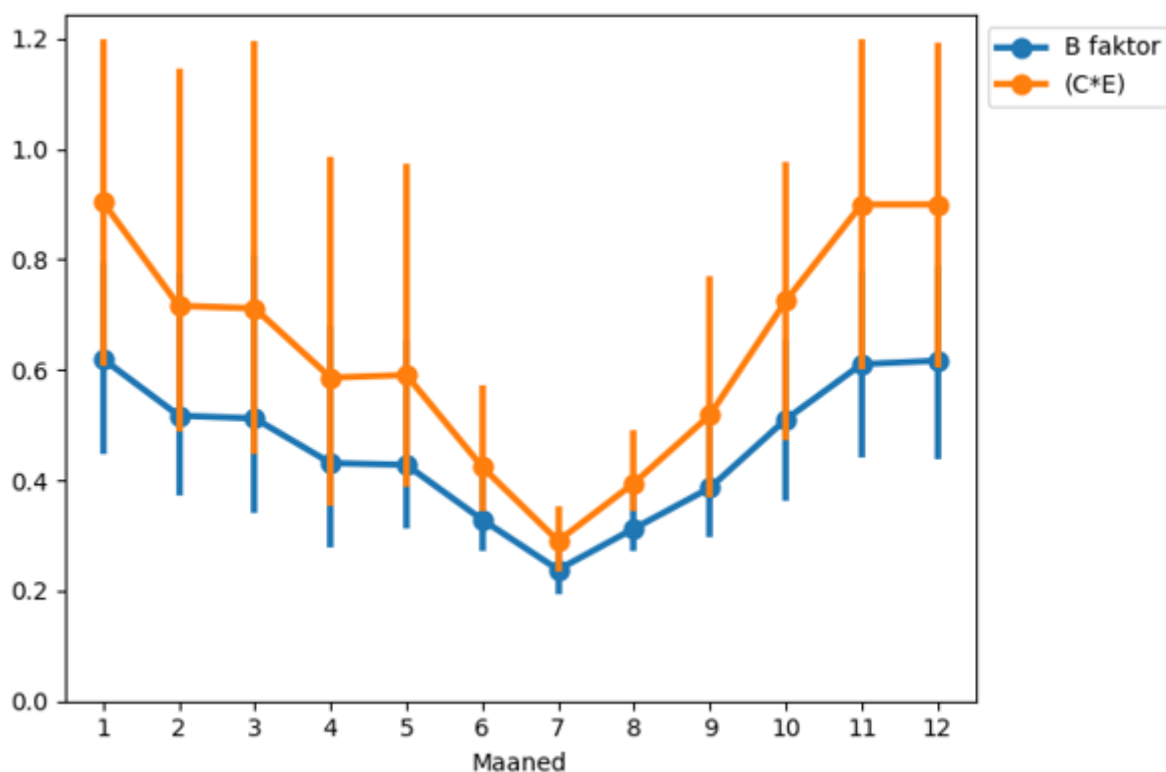
Innledende analyse

Her presenteres resultatene fra den innledende analysen som ble utført av seksjon ITS Teknologi på divisjon Transport og samfunn i Statens vegvesen. Resultatene gjelder for de fire utvalgte punktene og for de tidsintervallene som analysen er basert på.

Som vist i kapittel 2 er det en systematisk forskjell på C · E og B-faktoren. Denne forskjellen i «Truck factor» beregnet etter norsk metode (C · E) sammenlignet med svensk metode (B-faktoren) er vist i figur 8. Samme trafikkgrunnlag er lagt til grunn for de to beregningene da også B-faktoren er beregnet for kjøretøy over 5,6 m. Alle data fra de fire WIM-installasjonene inngår i beregningen, men datagrunnlaget fra de ulike WIM-punktene stammer fra litt forskjellige tidsperioder mellom 2015 og 2024. Figuren viser variasjonen over året, og de vertikale stolpene viser 95 % konfidensintervall for de beregnede parameterne.

Følgende forutsetninger ligger inne i disse beregningene:

- C er beregnet som gjennomsnittlig antall akslinger for kjøretøy med lengde over 5,6 m.
- E er beregnet som gjennomsnittlig ESALS etter fjerdepotensregelen der alle enkeltaksler og akselgrupper inngår, dvs. $\sum \text{ESAL}$ (enkeltdaksler + boggiaksler + trippelaksler + andre akselkonfigurasjoner) / antall (enkeltdaksler + boggiaksler + trippelaksler + andre akselkonfigurasjoner).
- B-faktoren er beregnet for kjøretøy som er lengre enn 5,6 meter tilsvarende grunnlaget for ÅDTT i Norge (ikke basert på kjøretøy over 3,5 tonn som i Sverige).



Figur 8: Sammenligning av B-faktor og C · E for kjøretøy over 5,6 meter, alle WIM-punkter.

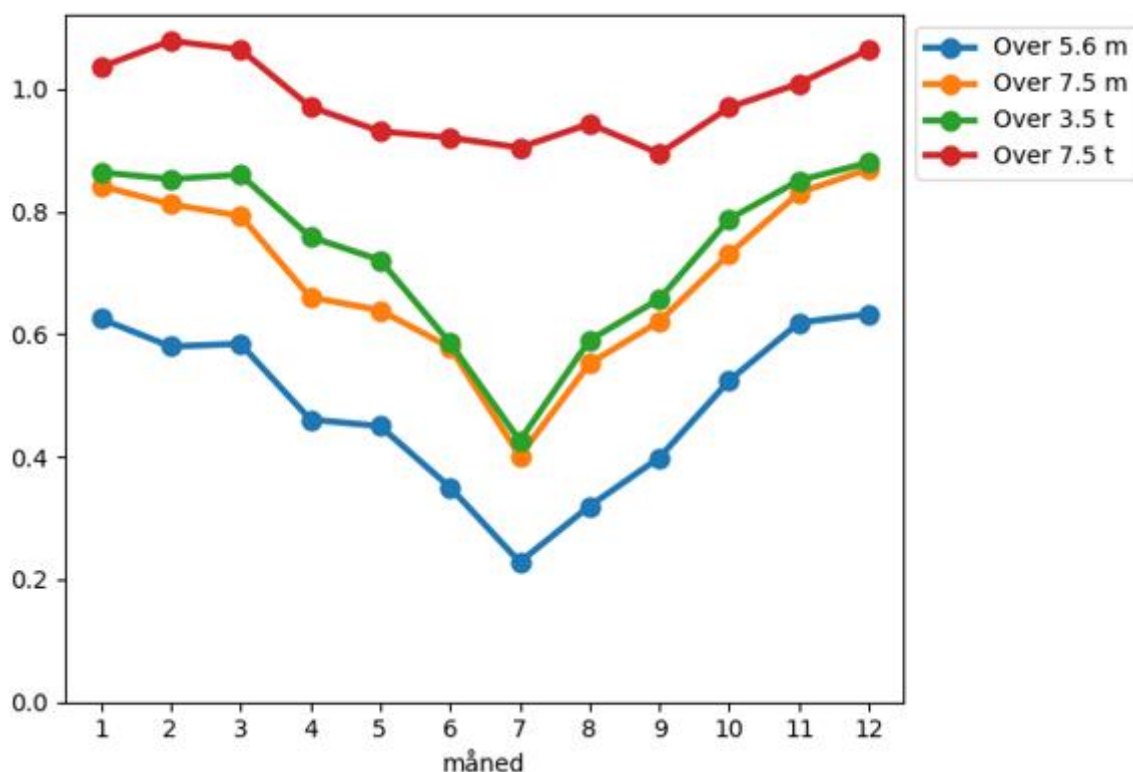
Resultatene i figur 8 viser at det er en stor reduksjon i gjennomsnittlig relativ nedbrytende effekt per tungt kjøretøy i sommermånedene (C · E og B-faktor). Dette skyldes nok en større andel lette biler med lengde over 5,6 m (bobiler, personbiler med henger/campingvogn etc.) og kanskje også færre tunge næringskjøretøy i ferieperioden på sommeren.

I tabell 6 er det gitt en oversikt over C · E, B-faktor og forholdet mellom disse to parameterne for de ulike WIM-punktene. Som tidligere nevnt ligger forholdet C · E/B-faktoren i snitt på ca. 1,4 men varierer fra 1,24 til 1,50 for de WIM-punktene som er med i denne analysen.

Tabell 6: C · E og B-faktor for WIM-punktene som inngår i analysen.

WIM-punkt	C · E	B-faktor	C · E/B-faktor	Kommentarer
E39 Øysand	0,42	0,34	1,24	
E8 Skibotn	0,79	0,56	1,41	
E6 Verdal	0,40	0,31	1,29	
Rv 3 Ånestad	1,08	0,72	1,50	Vest
Rv 3 Ånestad	1,04	0,70	1,49	Øst
Gjennomsnitt	0,75	0,53	1,39	

Figur 9 viser en sammenligning av B-faktoren med forskjellig grunnlag for hva som inngår av tunge kjøretøy, dvs. kjøretøy over 5,6 eller 7,5 meter og vekt over 3,5 eller 7,5 tonn.



Figur 9: B-faktor for forskjellig grunnlag av hvilke kjøretøy som inngår i beregningene.

Når ÅDTT defineres som kjøretøy med lengde over 5,6 m, som i Norge, viser figur 9 (blå kurve) at dette gir betydelig lavere verdi enn med den svenske definisjonen som omfatter alle kjøretøy over 3,5 tonn (grønn kurve).

Tabell 7: B-faktor for kjøretøy over 3,5 tonn og 5,6 meter for de ulike WIM-punktene i analysen.

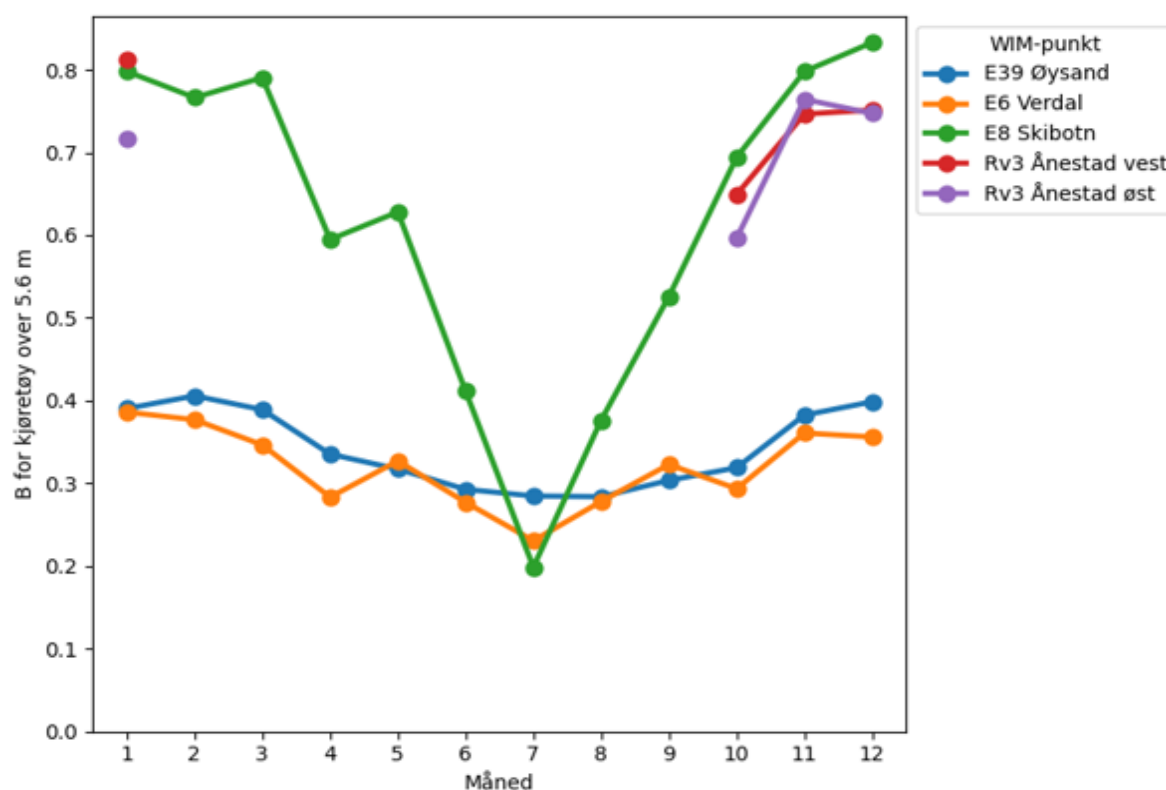
WIM-punkt	B-faktor: 3,5 tonn	B-faktor: 5,6 meter	B-faktor - 3,5 t/5,6 m	Kommentar
E39 Øysand	0,65	0,34	1,91	
E8 Skibotn	0,77	0,56	1,38	
E6 Verdal	0,64	0,31	2,06	
Rv 3 Ånestad	0,88	0,72	1,22	Vest
Rv 3 Ånestad	0,86	0,70	1,22	Øst
Gjennomsnitt	0,76	0,53	1,56	

Forholdet mellom B-faktor for kjøretøy over 3,5 tonn/B-faktor for kjøretøy over 5,6 m er ca. 1,56. Dette oppveier den metodiske forskjellen slik at C · E basert på kjøretøy over 5,6 m vil ligge på samme nivå som B-faktoren slik den er definert og beregnet i Sverige.

Beregningen viser også at ved å definere ÅDTT til alle kjøretøy over 7,5 m (oransje kurve) så vil dette gi omtrent samme B-verdi som når en tar med alle kjøretøy over 3,5 tonn (grønn kurve).

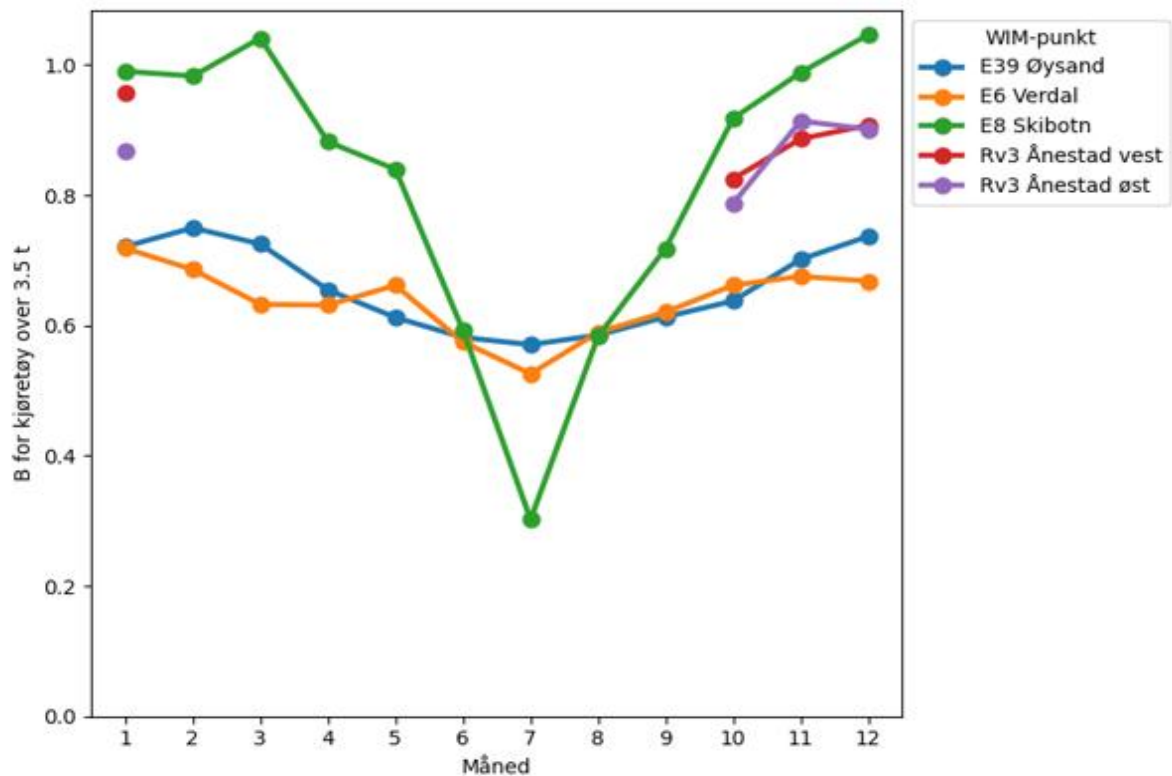
Figur 9 viser også at dersom en bare tar med kjøretøy over 7,5 tonn (rød kurve) så forsvinner den markerte nedgangen i B-faktor i sommermånedene.

Figur 10 viser B-faktor for alle WIM-punktene beregnet for kjøretøy over 5,6 m lengde. Når beregningsgrunnlaget settes til kjøretøy med lengde over 5,6 m inkluderer dette mange lette kjøretøy (Bobil, personbiler med henger/campingvogn, varebiler, minibusser osv.) som påvirker B-faktoren betydelig. E8 og Rv 3 er mye mer påvirket av ferietrafikken enn målepunktene på E39 og E6.



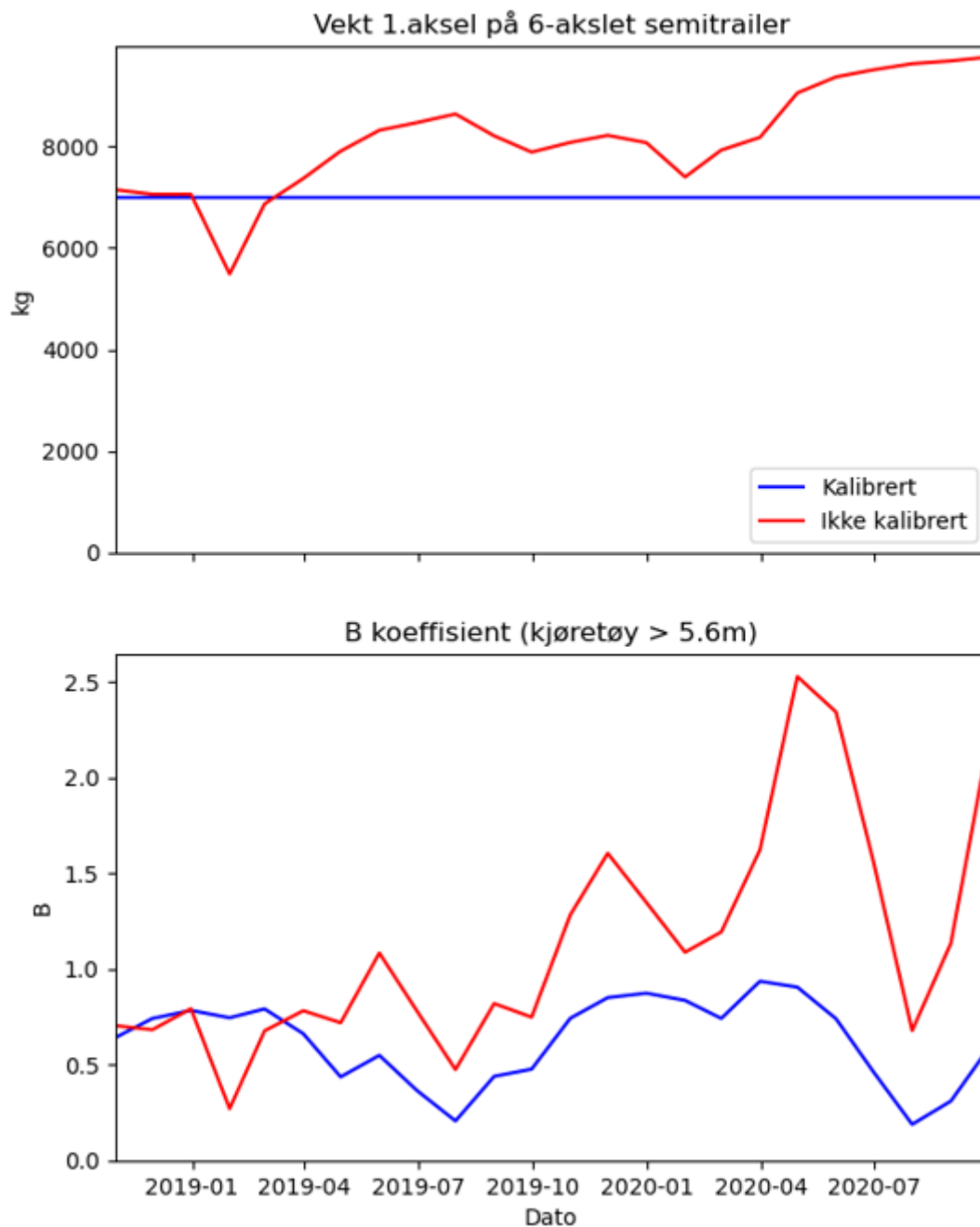
Figur 10: B-faktor for alle WIM-punktene, beregnet for kjøretøy over 5,6 m.

Figur 11 viser B-faktor for alle WIM-punktene beregnet for kjøretøy over 3,5 tonn, tilsvarende som i Sverige.



Figur 11: B-faktor for alle WIM-punktene, beregnet for kjøretøy over 3,5 tonn.

Figur 12 viser effekten av korrigering av registreringene basert på frontakselen på 6-akslede semitrailere, slik som beskrevet i kapittel 3 (figur 7). I dette eksemplet fra E8 Skibotn som har datagrunnlag for en hel toårsperiode, er det betydelig avvik på slutten av måleperioden. På grunn av fjerdepotensregelen (vektavviket opphøyes i fjerdepotens) blir korrigeringen av B-faktoren betydelig større enn korrigeringen (avviket) av vekten på framakselen.



Figur 12: Effekt av korrigering av registreringer ved hjelp av framakselen på 6-akslet semitrailer.

Tabell 8 viser en oversikt over B-faktoren for ulike lengdeklasser og WIM-punkter. Vi håper at dette på sikt kan utvikles til en metode der en kan beregne (estimere) en B-faktor ut ifra informasjon om lengden på kjøretøyene, der en ikke har WIM-data. Vi har flere hundre trafikktelepunkter som gir informasjon om lengde, men bare et fåtall WIM-installasjoner i Norge. Foreløpig er datagrunnlaget for dette litt spinkelt, men med et større datagrunnlag kan dette gi god informasjon uten at det blir nødvendig med mange nye WIM-installasjoner.

I kolonnen til høyre i tabell 8 er det beregnet B-verdier (vektet gjennomsnitt) for de ulike lengdeklassene basert på alle WIM-punktene i denne analysen. Som en kan se er det til dels stor forskjell på denne B-verdien og verdiene beregnet for hvert enkelt punkt. Dette skyldes nok flere forhold, blant annet ulike registreringsperioder. Når en får et større datagrunnlag vil en kunne vurdere om det er mulig å benytte slike «karakteristiske» verdier for hver lengdeklasse ved beregning

av B-faktoren, eller om det blir for unøyaktig. Et alternativ kan være å benytte B-verdier for ulike kjøretøyklasser ved beregning av B-faktor der en ikke har WIM-data.

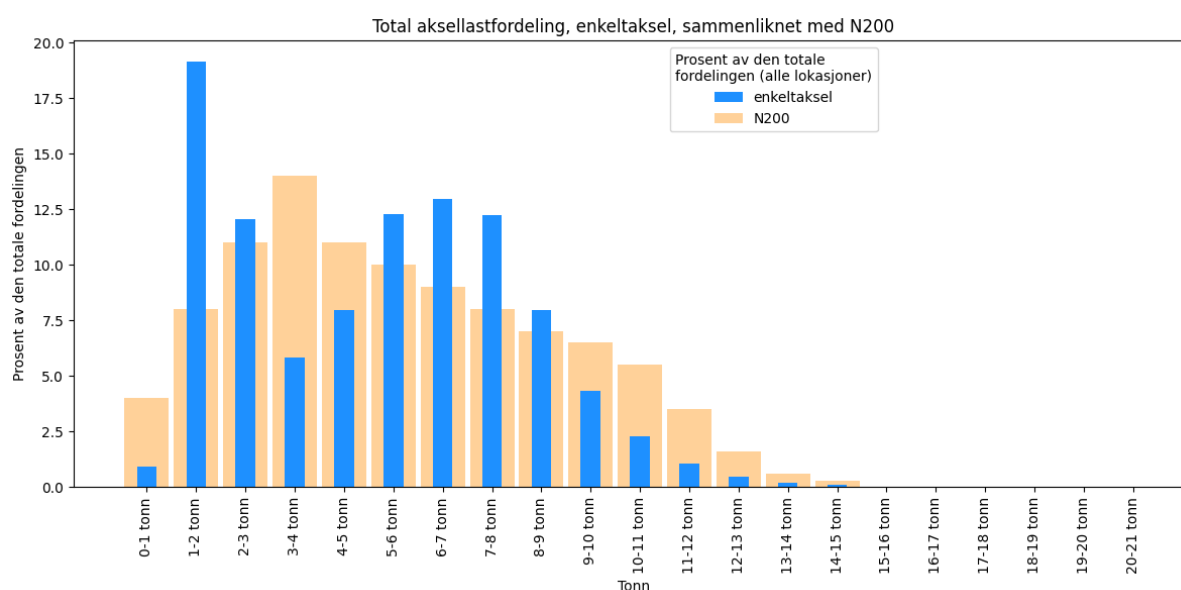
Tabell 8: B-faktor for ulike lengdeklasser.

Lengdeklasse	E39 Øysand	E8 Skibotn	E6 Verdal	Rv 3 Vest	Rv 3 Øst	Alle WIM punkter
5,6 - 7,5 m	0.01	0.01	0.01	0.07	0.05	0.01
7,5 – 12,5 m	0.29	0.21	0.23	0.46	0.44	0.28
12,5 – 16 m	0.59	0.47	0.44	0.82	0.63	0.55
16 – 24 m	1.02	1.25	0.89	1.20	1.29	1.07
> 24 m	1.71	1.43	0.97	1.52	1.26	1.39
Alle lengder over 5.6 m	0.34	0.56	0.31	0.72	0.70	0.43

Aksellaster og totalvekter

I 2024 utførte studentene Anders Stubberud, Lars Røste og Tilde Veie beregning av aksellastfordelinger og totalvekter av tunge kjøretøy på det samme datagrunnlaget som ble benyttet i den innledende analysen. Dette arbeidet ble utført som en del av deres sommerjobb i tilknytning til prøveordningen for tømmervogntog inntil 74 tonn.

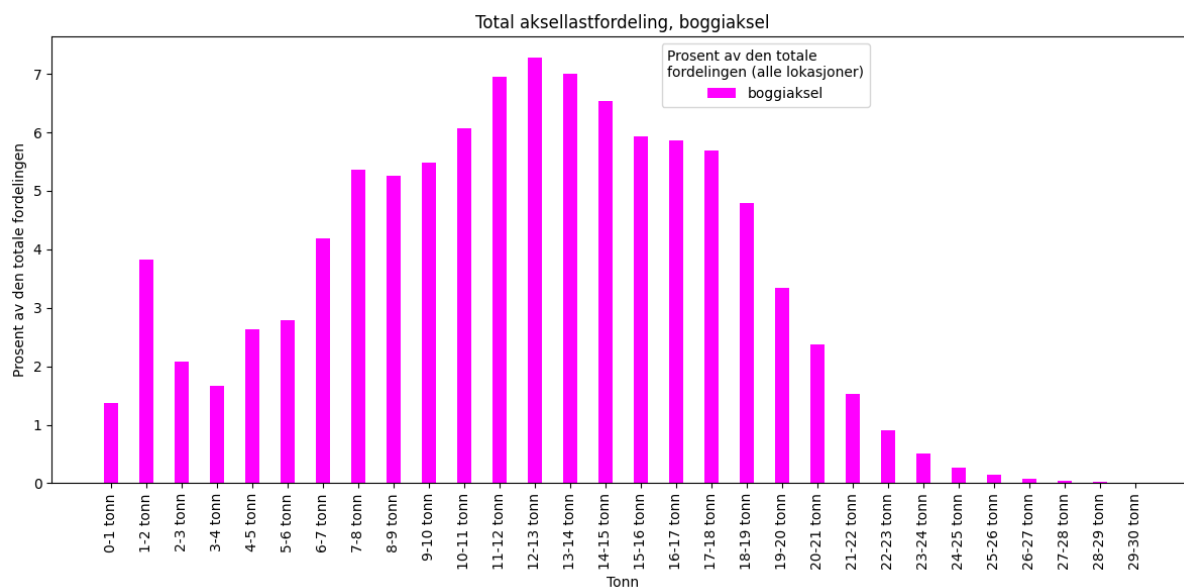
I figur 13 er aksellastfordelingen for enkeltaksler vist, sammen med fordelingen som er lagt til grunn i N200.



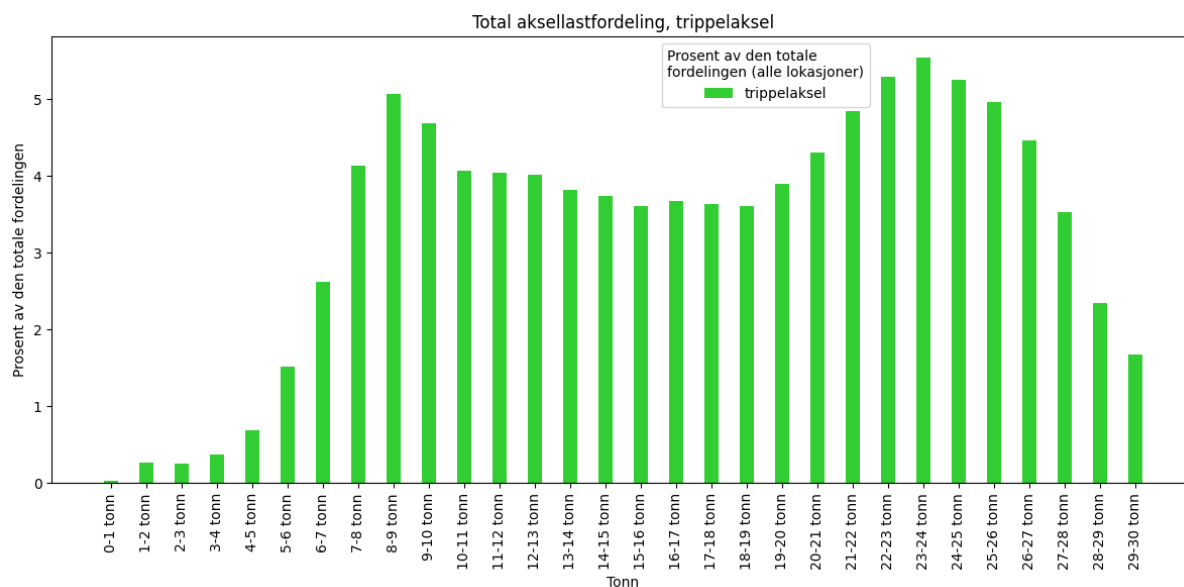
Figur 13: Aksellastfordeling for enkeltaksler.

I beregningsgrunnlaget for denne aksellastfordelingen er det benyttet data fra alle de fire WIM-installasjonene og kjøretøy med lengde over 5,6 meter. Det er til dels betydelige avvik i forhold til fordelingen i N200, spesielt for de små aksellastene.

Fordeling av aksellastene for boggi og trippelaksler er gitt i figur 14 og 15. N200 angir aksellaster bare for enkeltaksler, så her har vi ikke noe sammenligningsgrunnlag med verdier fra vegnormalen.



Figur 14: Aksellastfordeling for boggiaksler.



Figur 15: Aksellastfordeling for trippelaksler.

I tabell 9 er det gitt en oversikt over prosentvis fordeling av aksellastene for enkeltaksler fra N200 og beregnet fra de fire WIM-installasjonene. På grunn av avrunding og at noen aksler er registrert med last over 15 tonn summeres ikke WIM-raden til nøyaktig 100. I tabell 10 er det gitt en oversikt over den prosentvise fordelingen av aksellastene for boggi- og trippelaksler.

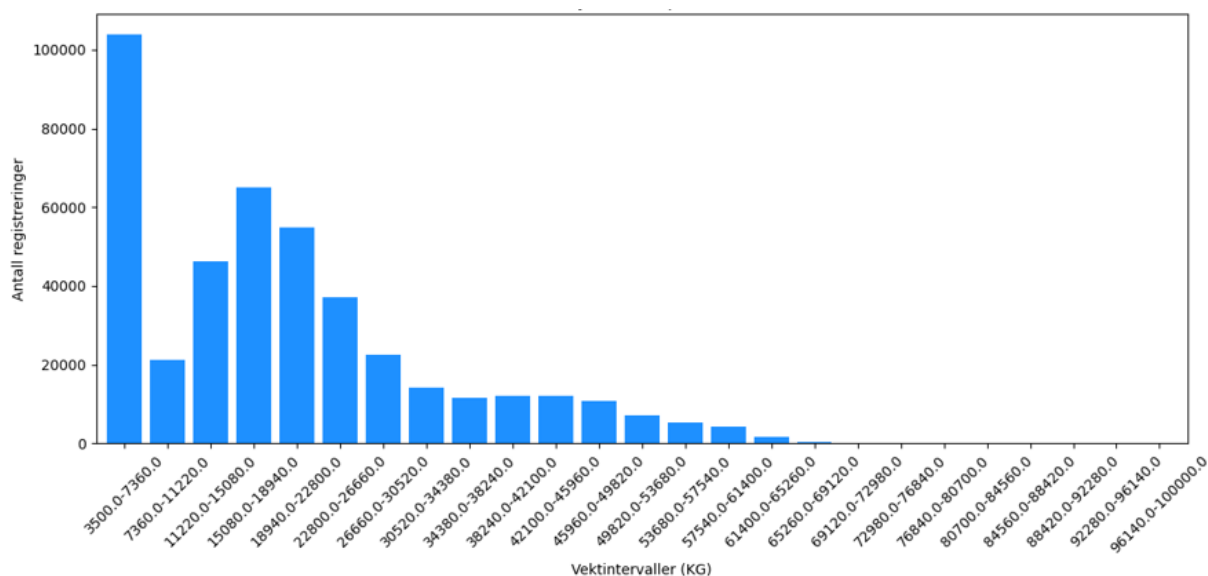
Tabell 9: Prosentvis aksellastfordeling for enkeltaksler gitt i N200 og beregnet fra WIM-registreringer.

Aksellast (tonn)	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15
N200	4	8	11	14	11	10	9	8	7	6,5	5,5	3,5	1,6	0,6	0,3
WIM	1	19	12	6	8	12	13	12	8	4,4	2,3	1,1	0,5	0,2	0,1

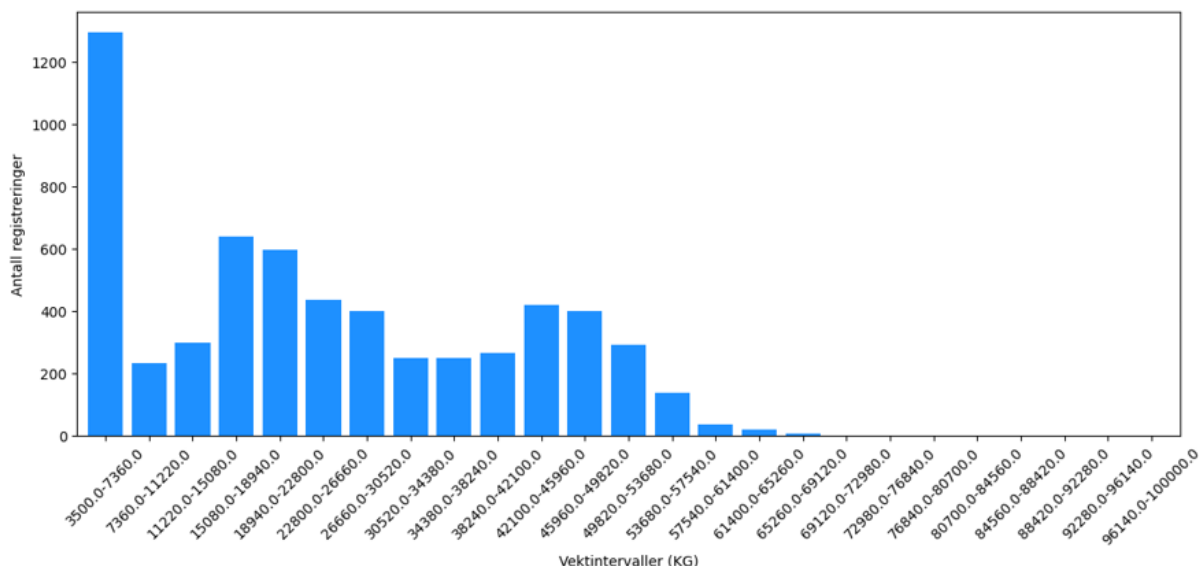
Tabell 10: Aksellastfordeling for boggi- og trippelaksler.

Aksellast	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
Boggi	1,37	3,83	2,08	1,67	2,63	2,79	4,19	5,36	5,25	5,48
Trippel	0,04	0,27	0,25	0,38	0,69	1,52	2,62	4,13	5,07	4,69
Aksellast	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Boggi	6,07	6,96	7,27	7,00	6,54	5,92	5,86	5,69	4,80	3,34
Trippel	4,07	4,04	4,02	3,82	3,74	3,61	3,68	3,63	3,61	3,90
Aksellast	20-21	21-22	22-23	23-24	24-25	25-26	26-27	27-28	28-29	29-30
Boggi	2,38	1,53	0,90	0,50	0,28	0,15	0,08	0,04	0,02	0,01
Trippel	4,31	4,84	5,29	5,54	5,26	4,96	4,47	3,53	2,35	1,68

Ved dimensjonering og analyse av vegoverbygninger er det aksellaster og B-faktor som benyttes i beregningsgrunnlaget. For andre fagområder, for eksempel bruer/konstruksjoner, er totalvekten minst like viktig. Figur 16 og 17 viser derfor registrerte totalvekter for de tunge kjøretøyene på to lokasjoner, Øysand og Ånestad.

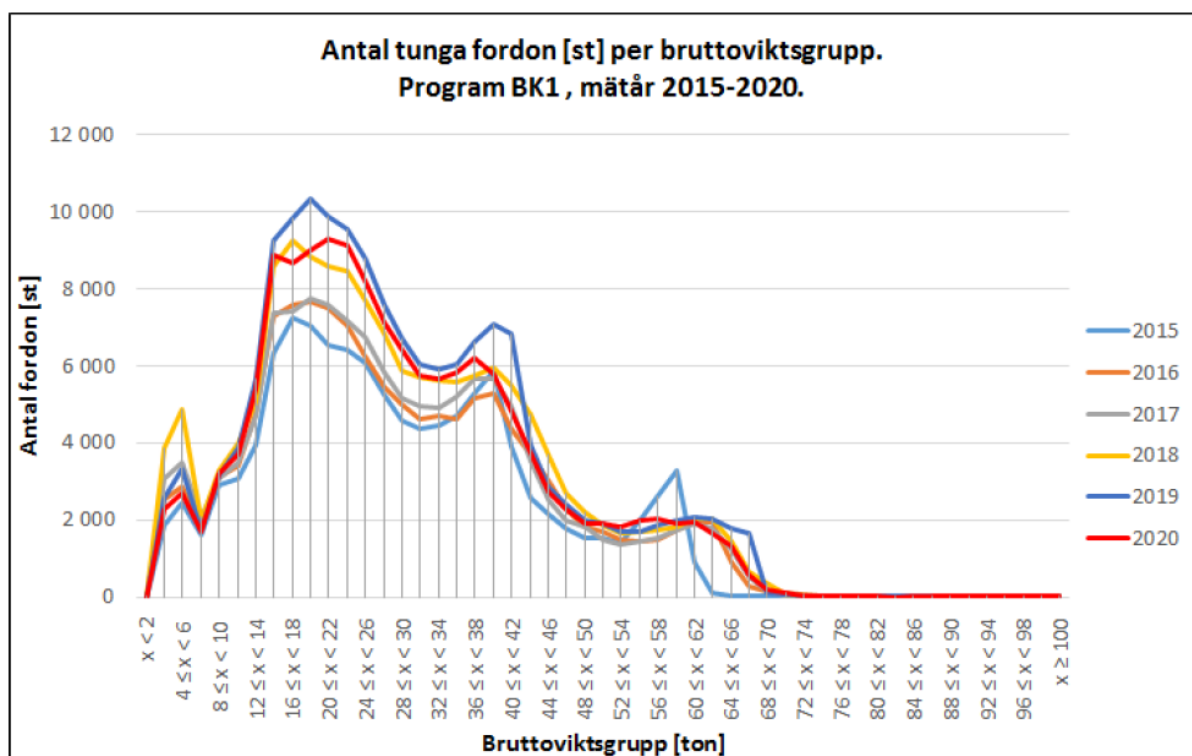


Figur 16: Totalvekter for tunge kjøretøy på E39 Øysand.

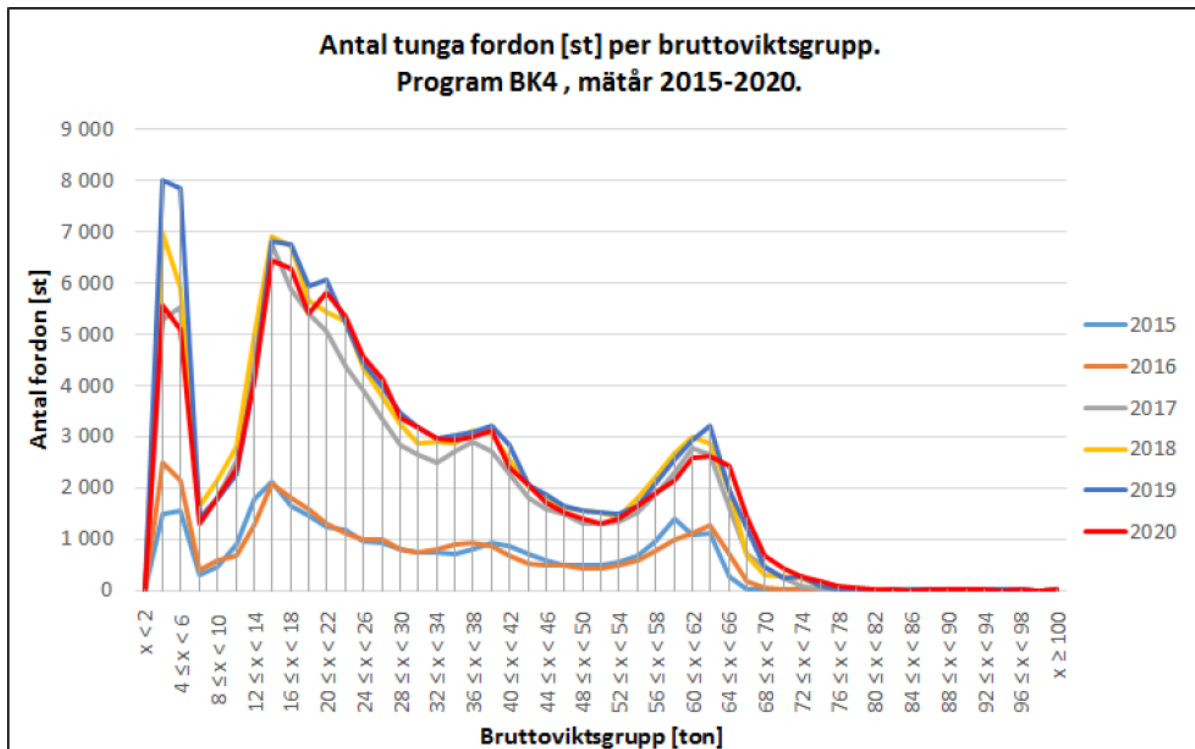


Figur 17: Totalvekter for tunge kjøretøy rv. 3 Årstad vestgående retning.

I figur 18 og 19 er det også tatt med grafer som viser hvordan fordelingen ser ut i Sverige der de tillater større totalvekter enn i Norge. Fra 1. juni 2015 tillot de totalvekt på 64 tonn i Sverige mot tidligere 60 tonn, og fra 1. juli 2018 opprettet de et BK4-vegnett med tillatt bruttovekt på inntil 74 tonn. På BK1-vegnettet (Bärighetsklass 1) er den tillatte totalvekten 64 tonn og figur 18 viser fordelingen av registrerte totalvekter for målestasjoner på dette vegnettet i perioden 2015 til 2020. Figur 19 viser tilsvarende fordeling for registreringer på Bk4-vegnettet i Sverige.



Figur 18: Fordeling av totalvekter for tunge kjøretøy på Bk1-veger i Sverige /6/.



Figur 19: Fordeling av totalvekter for tunge kjøretøy på Bk4-veger i Sverige /6/.

Figurene viser at det er betydelige forskjeller på totalvektene for tunge kjøretøy i Norge og Sverige. I Norge registreres mange kjøretøy under 3,5 tonn som tunge kjøretøy fordi vi har satt grensen for skillet mellom lette og tunge kjøretøy til 5,6 meter. Siden det i Sverige tillates større totalvekter enn i Norge er det naturligvis også større andel med totalvekt over 60 tonn i Sverige.

Da det i Sverige ble tillatt større totalvekter, beholdt man kravet om maks akselvekt på 10 tonn. For å kunne utnytte de økte totalvektene betyr det at kjøretøyene må ha flere aksler som vekten skal fordeles på. Det tar noen år før kjøretøyparken tilpasses det nye regelverket, og derfor er det grunn til å forvente at de aller tyngste kjøretøyene etter hvert vil utgjøre en enda større andel enn det som er rapportert her, frem til 2020.

Vektregistreringene gjøres også på to forskjellige måter i Norge og Sverige. I Norge benyttes piezoelektriske kabler som monteres i asfaltdekket, med kontinuerlige registreringer etter montering og kalibrering av installasjonen. I Sverige derimot benyttes Bridge-WIM som består av tøyningsgivere som monteres på undersiden av betongplatebruer eller kulverter. For hvert målepunkt registreres det en måleserie over én uke (7 døgn) per år og alle registreringene gjøres i perioden april til oktober.

Vektregistreringer med Bridge-WIM i Norge

I prøveordningen med 74-tonn totalvekt for tømmervogntog er det gjennomført vektregistreringer med Bridge-WIM på tre steder på Østlandet. Disse forsøkene er omtalt i sluttrapporten fra 74-tonn prosjektet /8/ og beregningene av B-faktor basert på disse registreringene er tatt inn her.

I tabell 11 er det gitt informasjon om de tre Bridge-WIM installasjonene og tabell 12 gir oversikt over registrerte B-faktorer.

Tabell 11: BWIM-installasjoner i 74-tonns prosjektet.

Bridge-WIM	Sted (Vegreferanse)	Registreringsperioder	ÅDT	Andel tunge	Kommentar
Sørbryn	Rv. 3 S1D1 m8302-07	Feb. 2023 og 2024	7000 (2023)	20 %	Driftsvegkulvert
Tangensvingen	Rv. 25 S5D1 m4402-07	Feb. 2023 og 2024	12097 (2023)	9 %	Betongkulvert
Fredrikstad	Rv. 110 K S3D1 m6504	Feb. 2024	26798 (2023)	8 %	

Tabell 12: B-faktor for BWIM-registreringene.

Bridge-WIM Målepunkt	Måleperiode	B-faktor		
		Retning 1	Retning 2	Middelverdi
Sørbryn	Februar 2024	1,96	1,43	1,70
	Februar 2023	2,37	1,58	1,98
Tangensvingen	Februar 2024	0,49	0,38	0,43
	Februar 2023	0,73	0,98	0,87
Fredrikstad	Februar 2024	1,29	1,15	1,22

Det er benyttet samme registreringsutstyr og beregningsforutsetninger som i Sverige på disse Bridge-WIM målingene. Det er Trafikia som har gjennomført registreringene og de benytter Cestel (den slovenske leverandøren av Bridge-WIM utstyret) til beregning av B-faktor (ESAL).

Følgende formel er benyttet i disse beregningene:

$$ESAL_{fordon} = \sum_{i=1}^n fw_i * \left(\frac{A_i}{Adim_i}\right)^4$$

A_i	= Aktuell axelgrupplast
$Adim_i$	= Dimensionerende axelgrupplast som motsvarer en ekvivalent 10 tons singelaxel for aktuell axelgrupp.
fw_i	= Koeffisient "Monterad hjultype"
n	= Antal axelgrupper på fordonet

Hjultype	Fw
Dubbelmonterade hjul	1,0
Wide Base (Super Singel)	1,2
Singel hjul	1,3

Her er det imidlertid innført en ny koeffisient Fw basert på nedbrytende effekt for forskjellige hjul typer. Dette er en faktor Trafikverket tok inn i beregningsforutsetningene for B-faktor (ESAL) i oktober 2022 /9/. Tidligere ble denne justeringen utført for hvert enkelt vegprosjekt, sammen med faktorer for vegtype, kjørefeltbredde og kjørehastighet /7/.

En beskrivelse av beregningsmetoden for Fw og et eksempel på beregning av denne faktoren for norsk trafikk sammensetning er gitt nedenfor. Innføringen av Fw medfører at B-faktoren øker og her må en være klar over at vi i den innledende analysen ikke hadde med denne faktoren. B-faktorer fra Bridge-WIM registreringene er dermed høyere enn de andre beregningene med en faktor på ca. 1,2.

Beregningene viser at B-faktoren varierer svært mye for de tre vegene/målepunktene. Sørbryn og Tangensvingen ligger geografisk nær hverandre, men på to forskjellige vegar. Tangensvingen ligger nært sentrum i Elverum og har mindre andel tunge og fullasta kjøretøy enn Sørbryn som ligger på Rv 3 der det går mye langtransport mellom Oslo og Trondheim. Det er også stor variasjon mellom de to kjøreretningene og forskjellige måleperioder. Når lengden av registreringsperiodene er på bare 7 døgn er det naturlig at det vil bli en del variasjon mellom de forskjellige måleperiodene.

Korrigeringsfaktor for forskjellige hjulkonfigurasjoner

Med Bridge-WIM har en ikke mulighet til å registrere kjøretøyenes hjulkonfigurasjoner, så her har de i Sverige laget en egen klassifikasjonstabell der hver kjøretøyklasse tilordnes ulike aksel- og hjulkonfigurasjoner. Hvert kjøretøy som registreres av Bridge-WIM tilordnes en kjøretøyklasse og hjulutrustning i henhold til denne klassifiseringen. Et utdrag av denne klassifikasjonstabellen er vist i figur 20.

Eksempel på fordonstyp	Motorfordon eller släpfordon	Bruttovikt BV Gränsvärde X ton *) för komp	Max Bruttovikt (ton) fordons-typ gäller BK1	Antal axlar mot väg	fw-värde per axel			
					A1	A2	A3	A4
	1	$3,5 < BV \leq X$	18	2	1,3	1,3		
	1	$3,5 < BV \leq X$	18	3	1,3	1,3	1,3	
	1	$3,5 < BV \leq X$	18	4	1,3	1,3	1,3	1,3
	1	$BV > X$	18	2	1,3	1,3		
	1	$BV > X$	18	2	1,3	1		
	1	$BV > X$	19,5	2	1,3	1		
	1	$BV > X$	28	3	1,3	1	1	
	1	$BV > X$	28	3	1,3	1	1,3	
	1	$BV > X$	28	3	1,3	1	1	
	1	$BV > X$	32	4	1,3	1	1	1
	1	$BV > X$	32	4	1,3	1	1	1

Figur 20: Klassifisering av Fw-verdi for ulike kjøretøyklasser i Sverige.

I beregningen av B-faktor for de 3 installasjonene i 74-tonnsprosjektet er det benyttet samme forutsetninger om hjulmontasjer som i Sverige.

Den nyeste WIM-sensoren som ble installert på E39 Øysand registrerer i tillegg til aksellast også dekkbredden og kan skille mellom enkelt og tvillinghjul. På denne forsøksstrekningen er det i tillegg vanlig trafikkregistreringsutstyr slik at en har god oversikt over lengden på kjøretøyene. For å få en viss oversikt over størrelsen på Fw-faktoren for norske forhold er det derfor analysert data fra E39 Øysand. Her er det beregnet Fw-faktor for ulike lengdeklasser samt gjennomsnittlig antall aksler per lengdeklasse, se tabell 13. Datagrunnlaget for denne beregningen er en ukes trafikk som tilsvarte 67 553 kjøretøy som passerte i den ene kjøreretningen der WIM-sensoren er installert.

Tabell 13: Fw-faktor og gjennomsnittlig antall aksler for ulike lengdeklasser på E39 Øysand.

Lengdeklasse	Gjennomsnittlig antall aksler	Fw - faktor
<5,6 m	2,00	1,2997
5,6 m – 7,5 m	2,01	1,2989
7,5 m – 12,5 m	2,66	1,2630
12,5 m – 16,0 m	3,02	1,1811
16,0 m – 24,0 m	5,21	1,1429
> 24,0 m	5,92	1,1405
Totalt – alle lengdeklasser	2,20	1,2795
Totalt, alle klasser > 5,6 m	2,52	1,2527
Totalt, alle klasser > 7,5 m	3,34	1,2083

For trafikken på Øysand i den aktuelle perioden viser analysen at Fw-faktoren ligger på 1,2 for kjøretøy med lengde over 7,5 meter. Når en tar med alle kjøretøy over 5,6 meter øker Fw-faktoren til 1,25. De korte kjøretøyene har stort sett bare 2 aksler og singel-hjul, så her ligger Fw-faktoren opp imot 1,3. Fw-faktoren avtar gradvis med lengden av kjøretøyene og for de aller lengste kjøretøyene ligger den på ca. 1,14.

5. Oppsummering, evaluering og anbefalinger

Dimensjonerende trafikkbelastning i N200

Ved dimensjonering og analyse av tilstandsutviklingen av vegoverbygninger er det nødvendig å ha god oversikt over belastningen på vegen. Det norske systemet for beregning av dimensjonerende trafikkbelastning (N) i N200 var imidlertid etablert i en tid da kjøretøyparken var helt annerledes enn i dag og har derfor flere svakheter.

N er definert som summen av ekvivalente 10 tonns aksler som belaster det aktuelle kjørefeltet i dimensjoneringsperioden og ved beregning av N benyttes faktorene C og E til å angi belastningen fra tungtrafikken. C er gjennomsnittlig antall aksler på tunge kjøretøy og ekvivalensfaktoren E angir de tunge akslene sitt gjennomsnittlige bidrag til nedbrytning av vegen sammenlignet med en 10 tonns aksel. Tilsvarende benyttes de i Sverige B-faktor (ESAL) som også skal oppgis som inngangsparameter for trafikkbelastningen i ERAPave PP/VegDim. Ofte betegnes B-faktoren som «Truck factor» siden det er betegnelsen som benyttes i ERAPave PP og andre tilsvarende dimensjoneringsystemer.

Systemet for beregning av faktorene C og E, i formelen for beregning av N, er beskrevet i vedlegg til 2014-utgaven av N200, men det er ikke definert hvordan ulike akselgrupper skal behandles. Dagens tunge kjøretøy består oftest av flere akselgrupper med fra 1 til 4 aksler, der vekten av enkeltaksler teller forskjellig ved beregning av E, avhengig av om det er en enkeltaksel eller del av en større akselgruppe. Derfor blir det også litt feil å beregne en gjennomsnittlig E-verdi. Da er det mye bedre å benytte B-faktor som er gjennomsnittlig nedbrytende effekt per kjøretøy.

Vi har her valgt å benytte samme beregningsmetode som i Sverige ved behandling av akselgrupper, og de fleste beregningene i denne rapporten er også basert på B-faktor (ESAL). Dette samsvarer med NVF sine anbefalinger /3/.

Ved kommende revisjoner av N200 må det vurderes om en i Norge fortsatt skal beholde C og E-faktorene, eller om en bør gå over til en faktor som i Sverige. Vår anbefaling er at vi også i Norge går over til B-faktor (gjennomsnittlig nedbrytende effekt per kjøretøy). Dette vil på flere måter være både enklere og ryddigere enn å beholde C- og E-faktorene vi i dag har. En oppnår da i tillegg harmonisering med det svenske systemet som også vil være en fordel. Men for å få fullstendig likhet med Sverige på dette, må også utvalget av hvilke kjøretøy som inngår i ÅDTT harmoniseres.

Behovet for vektdata og informasjon om B-faktorer

I N200 er det satt verdier på C lik 2,4 og E lik 0,427 som tilsvarer en B-faktor på 1,02. Disse faktorene varierer imidlertid mye, avhengig av trafikksamsetningen på den aktuelle veglenken. Det er angitt i normalen at faktorene kan endres når en har trafikkregistreringer som gir grunnlag for dette, men i praksis har de som prosjekterer sjelden tilgang på data for å gjøre slike endringer.

WIM-registreringene viser at det er store variasjoner i B-faktor for forskjellige veglenker/vegtyper. Figur 21 illustrerer dette, der trafikkdata for Sørbyrn, Ånestad og Tangensvingen er vist i et kartutsnitt av vegene i området. Disse trafikklengkene ligger inntil hverandre på det samme riksvegnettet, men B-faktoren varierer mye. De angitte B-faktorene i figur 21 er gjennomsnittsverdier for begge kjøreretninger og for de periodene vi har registrerte data. For Ånestad er B-faktoren justert med Fw-faktor på 1,20 slik at alle verdiene er sammenlignbare og tilsvarer B-faktoren slik den beregnes i Sverige.

Ved ME-dimensjonering benyttes i dag en gjennomsnittlig «Truck factor» (B-faktor) på 1,02 som er basert på normalverdiene for C og E i N200. Når denne faktoren i realiteten varierer fra ca. 0,5 til 2,0 vil avvikene kunne bli betydelig. Bedre dokumentasjon av belastningen fra de tunge kjøretøyene vil derfor medføre at vegoverbygningene kan optimaliseres bedre i forhold til belastningen på den aktuelle strekningen og gi en mer korrekt beregning av tilstandsutviklingen.



Figur 21: Trafikkdata for tre veglenker (målepunkter) i Stange og Elverum.

På sikt er det behov for bearbeiding og systematisering av alle tilgjengelige vektdata, slik at oppdaterte B-faktorer blir tilgjengelig for alle som planlegger/prosjekterer veg. Målet må være at disse faktorene knyttes opp til systemet med andre trafikkdata og angis for hver enkelt trafikklenke (fra kryss til kryss). Det vil bli for kostbart å ha mange WIM-installasjoner på vegnettet i Norge, og derfor må det også utvikles et system der en beregner B-faktor ut ifra trafikk sammensetningen (lengdeklasser eller kjøretøyklasser) på den enkelte veglenke. Derfor bør det i det videre arbeidet legges vekt på å få god oversikt over B-faktor for ulike lengdeklasser/kjøretøyklasser for forskjellige vegtyper/trafikk sammensetninger.

Definisjon av ÅDTT

I Norge registreres ÅDTT ved trafikk tellinger som kjøretøy med lengde over 5,6 meter. Dette gjør at en rekke lette kjøretøy som i dag klassifiseres som «tung» også regnes med blant ÅDTT (bobiler, varebiler, minibusser, personbiler med henger etc.). De lette kjøretøyene bidrar i praksis bare til slitasje på toppdekket, den strukturelle nedbrytningen av vegene forårsakes hovedsakelig av de tunge kjøretøyene med akselvekt over 5 tonn.

Ved å sette grensen mellom lette og tunge kjøretøy til 7,5 meter vil en oppnå et mer reelt skille mellom hvilke kjøretøy som bidrar til nedbrytning av vegene. Som vist i kapittel 4 vil en da også få

omtrent samme trafikkgrunnlag som om grensen var satt til 3,5 tonn som i Sverige, og som også samsvarer med definisjonen av tunge kjøretøy i kjøretøyforskriften og i vegnormalene.

For verdien på N (totalt antall ekvivalente 10 tonns aksler i dimensjoneringsperioden) spiller det imidlertid ikke så stor rolle om en setter grensen for ÅDTT på 5,6 eller 7,5 meter. N beregnes som et produkt av ÅDTT og $C \cdot E$ (eller B-faktor). Når en endrer grensen for ÅDTT fra 5,6 m til 7,5 m vil ÅDTT gå ned og B-faktoren øke. I denne analysen regnet vi gjennom noen eksempler som viste at N i praksis blir på samme nivå når ÅDTT-grensen økes fra 5,6 til 7,5 meter.

Ut ifra vår faglige vurdering vil vi likevel anbefale at grensen for klassifisering av tunge kjøretøy basert på lengde økes fra 5,6 til 7,5 meter. Dette vil som nevnt medføre bedre samsvar med kjøretøyforskriften og vegnormalens definisjon av ÅDTT samt tilsvarende grense i Sverige. I tillegg unngår en registrering av en rekke lette kjøretøy i ÅDTT som i visse tilfeller (der en har mange lette kjøretøy som registreres som tunge pga. lengden) kan gi relativt store utslag og «feil verdier» for denne parameteren.

Sammenligning med svenske registreringer

Når en sammenligner B-faktorer fra svenske registreringer med de verdiene vi har beregnet i denne analysen fra de utvalgte norske WIM-installasjonene, så ligger de norske verdiene til dels betydelig lavere enn de svenske verdiene. Dette skyldes følgende forhold:

1. Det er en beregningsfeil for B-faktorene i Trafikverkets rapport 2021:139 /6/ som gjør at B-faktoren er ca. 0,3 for høy (B-faktorer på 1,5 i rapporten skal være 1,2 osv.).
2. B-faktorer som rapporteres i Sverige korrigeres med en faktor for hjultype (Fw). For Øysand ble denne beregnet til ca. 1,2 som betyr at B-faktoren vil være ca. 20 % høyere. Denne faktoren er ikke tatt med i våre analyser, men er med i resultatene fra Bridge-WIM. I figur 21 er også verdien for Ånestad økt med 20 % slik at alle verdiene i denne figuren er sammenlignbare og beregnet tilsvarende som i Sverige.
3. I Sverige tillates det høyere totalvekter enn i Norge. Det kan være at de i Sverige også utnytter kapasiteten på kjøretøyene bedre enn i Norge, men dette har vi ikke dokumentasjon på.

6. Referanseliste

1. Statens vegvesen, Vegnormal N200 Vegbygging.
2. Statens vegvesen rapport 222, Vehicle weight data from speed enforcement systems. Maximilian Böhm, Torbjørn Haugen, Jorunn Riddervold Levy og Anna Rodum Bjøru 2019.
3. NVF committee Vehicles and Transports, Report nr. 08/2008, Road wear from Heavy Vehicles.
4. Statens vegvesen rapport 613, Registrering av aksellast – Erfaringer med veiing i fart (WIM) 2011-2015, Jorunn Riddervold Levy 2016.
5. Statens vegvesen rapport 735, Nøyaktighet ved WIM (Weigh-In-Motion) målinger, Rabbira Garba Saba 2021.
6. Trafikverket rapport 2021:139, Vägtrafiklaster – Tunga fordons vikt i rörelse, Nationell sammanställning mätprogram, Korttidsmätningar (7 dygn), År 2015 – 2020.
7. Trafikverket rapport 2011:073, Trafikverkets tekniska råd Vägkonstruktion.
8. Prøveordning for tømmer-vogntog opptil 74 tonn.
9. Trafikverket, Instruksjon: Regler och beräkningsförutsättningar – Vägtrafiklaster – Tunga fordons vikt i rörelse, 2022-10-20.
10. COST 323 Weigh-in-Motion of Road Vehicles. Final report, Jacob B., O'Brien E., Jehaes S. (Editors) 2002.

66.2 tonn tilsvarer 4.85 ESAL



15.4 tonn 21.2 tonn 20.9 tonn 8.7 tonn

$$ESAL = \left(\frac{15.4}{10}\right)^4 \cdot 0.0952 + \left(\frac{21.2}{10}\right)^4 \cdot 0.0952 + \left(\frac{20.9}{10}\right)^4 \cdot 0.0952 + \left(\frac{8.7}{10}\right)^4 = 4.85$$

60 tonn tilsvarer 3.1 ESAL



18 tonn 18 tonn 18 tonn 6 tonn

$$ESAL = \left(\frac{18}{10}\right)^4 \cdot 0.0952 + \left(\frac{18}{10}\right)^4 \cdot 0.0952 + \left(\frac{18}{10}\right)^4 \cdot 0.0952 + \left(\frac{6}{10}\right)^4 = 3.1$$

20 tonn tilsvarer 2 ESAL



10 tonn

10 tonn

$$ESAL = \left(\frac{10}{10}\right)^4 + \left(\frac{10}{10}\right)^4 = 2$$

20 tonn tilsvarer 3.1 ESAL



13 tonn

7 tonn

$$ESAL = \left(\frac{13}{10}\right)^4 + \left(\frac{7}{10}\right)^4 = 3.1$$



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag