

Vägar för framtidens fordon

ER DIMENSJONERINGSMETODENE TILPASSET FREMTIDENS TRAFIKKPÅKJENNINGER?

Ragnar Evensen
ViaNova Plan og Trafikk AS
Norge
ragnar.evensen@vianova.no

Sammendrag

Innledningsvis gis det en enkel oversikt over hvordan trafikkpåkjenningene inngår i de nordiske lands dimensjoneringsmetoder. Metodene er i prinsippet relativt like. Alle land har en omregning av forventede trafikklaster til et ekvivalent antall 10 tonns aksellaster. Forskjellene mellom metodene består bl.a. av hvilke faktorer som kan eller skal inngå i beregningen.

Man kan, som et eksempel, få et godt inntrykk av framtidens trafikkpåkjenninger gjennom den ”prøveordning for modulvogntog” som gjennomføres i Norge i tiden 1.6.2008 til 1.6.2011. Det er gjengitt noen eksempler på videreutvikling av formlene for beregning av ekvivalent antall 10 tonns aksellaster basert på COST 334, det norske etatsprosjektet BUAB og MnRoad Project i USA.

De fleste av dagens dimensjoneringsmetoder er relativt enkle og grove. Dersom spørsmålet i innleggets tittel legger hovedvekt på dimensjoneringsmetodenes mulighet for med enkle grep å ta hensyn til framtidens trafikkpåkjenninger, bør svaret bli et betinget JA.

Dersom man omformulerer spørsmålet noe og spør om dagens beregninger av ekvivalent antall 10 tonns aksellaster er en egnet parameter i framtidens dimensjoneringsystemer, bør svaret sannsynligvis være NEI. Det er et behov for å sette strenge krav til presisjonen i framtidig dimensjonering av vegger. Dette er mulig, bl.a. fordi man i dag har relativt gode og detaljerte kunnskaper om materialeegenskapene, modeller for vegens nedbrytning etc. I disse omgivelser vil en nøyaktig beregning av ekvivalent antall 10 tonns aksellaster bli så kompleks og uoversiktlig at man like gjerne kan ta skrittet fullt ut og bruke faktiske trafikkdata direkte, bl.a. basert på WIM-registreringer.

I tillegg kommer et behov for å ha en fasit som klart og entydig gir mulighet for å vurdere kvaliteten til den dimensjonering som er gjort ved de enkelte vegprosjekter. Dette krever blant annet en god definisjon av hva som menes med dimensjoneringsperiode, og som kobler denne til forventet tilstandsutvikling for vegoverbygningen.

Innledning

Tungtrafikkens betydning for dimensjonering av vegoverbygningen uttrykkes i alle de nordiske lands dimensjoneringsmetoder gjennom ”Ekvivalent antall 10 tonns aksellaster” i en nærmere angitt dimensjoneringsperiode. Begrepet fikk et gjennombrudd i dimensjoneringsammenheng etter AASHO-forsøkene i USA 1958- 1960, men da med en aksellast på 18 000 lbs som referanse.

Spørsmålet om dimensjoneringsmetodene er tilpasset framtidens trafikkpåkjenninger kan i prinsippet splittes i to delspørsmål.

- Hvor pålitelige er beregningene av ekvivalent antall 10 tonns aksellaster ut fra tungtrafikkens sammensetning på vegene?

- Er ekvivalent antall 10 tonns aksellaster et tilstrekkelig godt uttrykk for påkjenningene på materialene i vegoverbygningen og den nedbrytning som forventes å finne sted over tid?

Beregning av ekvivalent antall 10 tonns aksellaster

Norge og Island

I Norge og Island beregnes ekvivalente antall 10 tonns aksellaster ut fra en relativt enkel formel basert på en antatt aksellastfordeling og firepotensregelen. Likningen inkluderer antatt andel tungtrafikk i dimensjonerende kjørefelt for veger med ett, to eller fire kjørefelt. En viktig del av inngangsparametrene for likningen er :

- Gjennomsnittlig antall aksler per tunge kjøretøy, C, antatt lik 2,4
- Gjennomsnittlig ekvivalensfaktor per aksel, E, antatt lik 0,424

Sverige

I Sverige beregnes ekvivalente antall 10 tonns aksellaster ut fra en formel tilsvarende den norske. Den viktigste forskjellen er at likningen inneholder en B-faktor som uttrykker gjennomsnittlig ekvivalensfaktor per tunge kjøretøy, i prinsippet lik produktet av C og E i den norske likningen.

I tidligere versjoner av ATB Väg ble faktoren B satt til 1,3, som er noe høyere enn produktet av C og E i Norge. Basert på BWIM-målinger siden 2002 er det i ATB Väg 2005 presentert betydelige variasjonsområder for B-faktoren:

Veg	B-faktor
Europaveg	1,3 – 4,0
Regional veg, mye tungtrafikk	3,0 – 5,0
Regional veg, normal mengde tungtrafikk	0,9 – 2,5
Lokal veg, svært lite tungtrafikk	0,2 – 1,0
Lokal veg, mye tungtrafikk	3,0 – 5,5

De store variasjonsområdene for B-faktoren viser tydelig behovet for å kunne utvise et godt skjønn, eventuelt fremskaffe et godt datagrunnlag for beregning av ekvivalent antall 10 tonns aksellaster når dette skal anvendes ved dimensjonering av veger.

Danmark

I de danske vejregler ”Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger” av mars 2007 er uttrykket for ekvivalente 10 tonns aksellaster over vegens dimensjoneringsperiode en del mer omfattende enn i Norge, Island og Sverige.

I tillegg til tungtrafikkens volum og sammensetning er det bl.a. korreksjonsfaktorer for:

- trafikkens kanaliseringsgrad
- evt. tillegg for vridningspåkjenninger i rundkjøringer
- en faktor ut fra antatt andel super single dekk

De danske beregningsregler gir mulighet for beregning av ekvivalente 10 tonns aksellaster basert på en oppdeling av tungtrafikken i fire hovedgrupper

- Busser
- Enkle tunge kjøretøy

- Semitrailere
- Vogntog

Dersom man ikke har informasjon om fordelingen mellom tungtrafikkens hovedgrupper, er det angitt en alternativ beregning basert på fordelingen basert på samlet kjøretøylengde større eller mindre enn 12,5 m, evt. ingen oppdeling.

I den enkleste varianten vil beregnet ekvivalente 10 tonns aksellaster være i samme størrelsesorden som med den norske beregningen.

Finland

I de finske dimensjoneringsregler blir ekvivalent 10 tonns aksellaster i en dimensjoneringsperioden beregnet ved hjelp av likninger som avviker en del fra de øvrige nordiske lands beregningsregler. En prinsipielt viktig forskjell er at man i Finland skal bruke trafikkmengdene 10 år etter vegåpning (dvs. midt i dimensjoneringsperioden), ikke trafikkmengdene ved vegåpning.

Likningen gir mulighet for å beregne ekvivalent 10 tonns aksellaster basert på en oppdeling av tungtrafikken i:

- Enkle, tunge kjøretøy, inkl. busser
- Vogntog, inkl. semitrailere

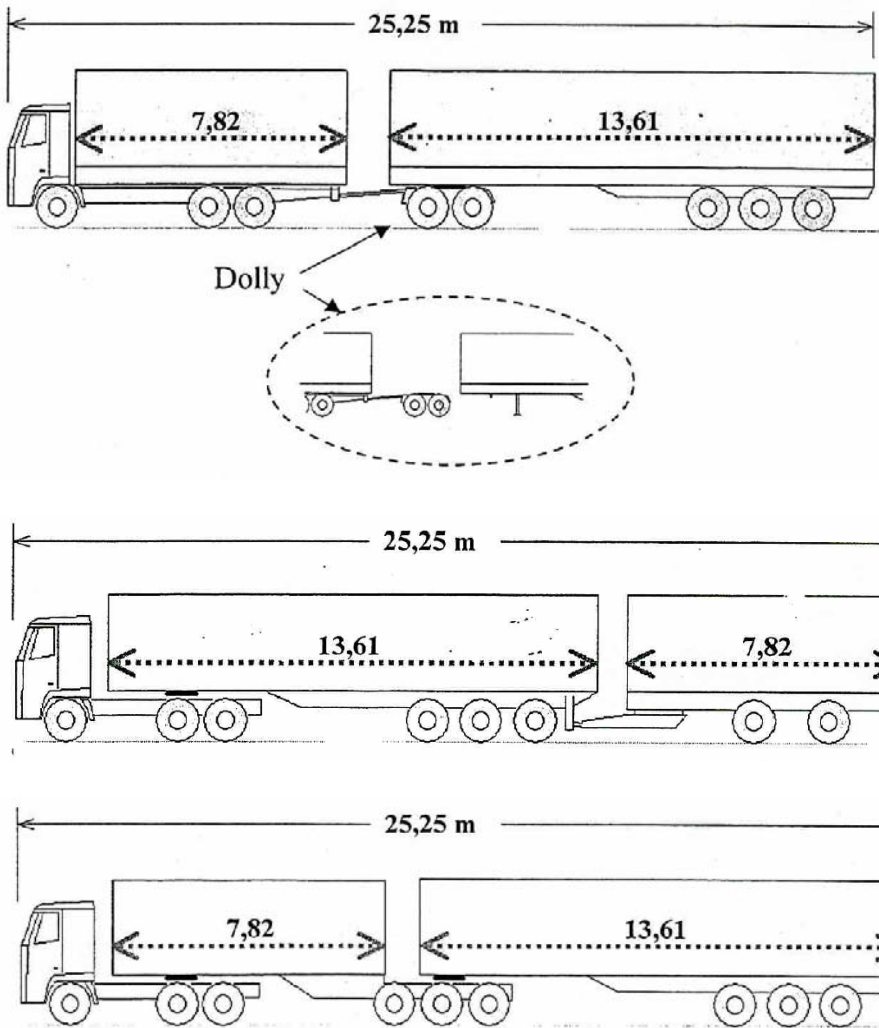
Med forutsetninger 2% årlig trafikkvekst og foreling 40/60 mellom trailere og enkle tunge kjøretøy, får man at det finske uttrykket gir et ekvivalent antall 10 tons aksellaster som er ca 50% høyere enn hva man får med norske og islandske beregninger. I forhold til beregninger etter de svenske prinsipper, vil man i Finland ha en B-faktor i størrelsesorden 1,6.

Fremtidens trafikkpåkjenninger – hva er det?

En vurdering av fremtidens trafikkpåkjenninger er nær knyttet til utviklingen innen tunge kjøretøyer, hva som brukes og hva som tillates brukt.

Et visst bilde av en fremtidig utvikling fikk vi i Norge i april i år hvor Statens vegvesen sendte ut en melding om en "Prøveordning med modulvogntog" gjeldende fra 1.6.2008 til 1.6.2011. Denne prøveordningen bygger på Norges tiltrødelse til EU-direktivet 96/53/EF som er bestemmende for vektor og dimensjoner for kjøretøy. Direktivet åpner for muligheten til nasjonale lengdebestemmelser så lenge såkalte "EU-moduler" (standard slep- eller påhengsvogn og semi-trailer) kan kombineres til minst den samme lastlengde som de nasjonale særlengdene. Dette ble gjort i forbindelse med Sverige og Finlands forhandlinger om inntreden i EU, siden begge landene allerede hadde tillatte lengder (hhv. 24 og 23 meter) større enn hva som var tillatt i de land som allerede var med i EU. Prøveordningen er begrenset til et nærmere angitt del av hovedvegnettet i Norge.

De mest aktuelle modulvogntog som dekkes av prøveordningen, er skissert nedenfor.



I Norge vurderes det å innføre krav om ABS-bremser for modulvogntog. Sverige og Finland har allerede slike krav. Et punkt som kanskje er viktigere ut fra den strukturelle dimensjonering av vegene, er at prøveordningen også inkluderer å øke tillatt totalvekt til 60 tonn på den samme delen av vegnettet, i tråd med reglene i Sverige og Finland. Forsøksordningen innebærer ingen endringer i tillatt aksellast.

COST 334, Effects of Wide Single and Dual Tyres, ble igangsatt i 1996 og avsluttet med et workshop i Juni 2002. Prosjektet hadde fokus på de forskjellige sider ved bruken av brede enkle dekk. I dette arbeidet ble akselkonfigurasjonens innvirkning på vegoverbygningens nedbrytning splittet i to faktorer, som angitt i likningen nedenfor

$$AWF = TCF * LF$$

hvor AWF = Axle Wear Factor
 TCF = Tyre Configuration Factor
 LF = Load Factor

Analysene ble gjennomført for en rekke typiske tunge kjøretøy, hvor følgende verdier for TCF ble benyttet:

Standard tvillinghjul: TCF = 1,0
 Brede enkle dekk: TCF = 2,07
 Standard enkle dekk TCF = 2,86

For det sekundære vegnettet ble akslenes LF vurdert ut fra den tradisjoneller fjerdepotensregelen og aksellast i forhold til referansen 10 tonn. For hovedvegnettet ble LF vurdert ut fra en antagelse om at en annenpotensregel ga et mer realistisk bilde av kjøretøyenes nedbrytende effekt.

I arbeidet ble det også vurdert at brede enkle dekk normalt hadde ca 100 kPa høyere dekktrykk enn standard-dekk, selv om begge dekktyper hadde 900 kPa som øvre tillatte grense.

Kjøretøyets totale nedbrytende effekt (VWF, Vehicle Wear Factor) ble definert som summen av AWF for alle aksler. Konklusjonen av analysene i COST 334 var at bruken av brede enkle dekk var generelt sett samfunnsøkonomisk lønnsomme til tross for vegholders merkostnader pga. økt nedbrytning.

Den danske dimensjoneringsmetoden er den eneste av metodene i de nordiske land som eksplisitt tar hensyn til de seinere års utvikling med hensyn til bruken av brede enkle dekk på en betydelig andel av tunge kjøretøy.

En annen viktig side av de seinere års utvikling av tunge kjøretøy er anvendelsen av ”vegvennlig avfjæring” på tunge kjøretøy. Opprinnelig ble dette begrenset til å gjelde luftfjæringssystemer. Blant annet gjennom Amendment 89/338EEC til EU-direktivet 85/3EEC ble 19 tonns boggilast tillatt forutsatt at kjøretøyets drivaksler hadde et avfjæringssystem som var ekvivalent med luftfjæring med hensyn på vegens nedbrytning. Begrepet vegvennlig avfjæring ble eksplisitt tatt i bruk i Amendment 92/7EEC hvor også kriteriene for å benytte begrepet ”vegvennlig avfjæring” ble fastlagt.

Som et delprosjekt under Statens vegvesens etatsprosjekt BUAB (Bedre utnyttelse av vegens bæreevne, 1990-94), ble det gjennomført et litteraturstudium over kjøretøyrelaterte faktorer og deres innvirkning på vegkonstruksjonens nedbrytning. Ut fra den informasjon som var tilgjengelig i 1992 ble det foreslått å uttrykke aksellastens relative nedbrytende effekt ved likningen nedenfor.

$$LEF = k_{at} * k_{wt} * k_{ld} * k_{tp} * \left(\frac{P}{P_0} \right)^\gamma$$

hvor	LEF	= aksellastens relative nedbrytende effekt
	k_{at}	= korreksjonsfaktor for akseltype, inkl. akselavstand
	k_{wt}	= korreksjonsfaktor for dekktype, inkl dekkbredde
	k_{ld}	= korreksjonsfaktor for ujevn lastfordeling mellom tvillinghjul
	k_{tp}	= korreksjonsfaktor for dekktrykk
	P	= belastningen på en aksel
	P_0	= referansebelastningen, 10 tonn
	γ	= eksponent for lastens betydning for nedbrytningen

Dette uttrykket ble i et etterfølgende delprosjekt under BUAB utvidet med en korreksjonsfaktor for avfjæringens betydning. Dette uttrykket ble så benyttet i en analyse av i alt 54 forskjellige typer tunge kjøretøy, valgt ut fra Vegdirektoratets kjøretøydatabase AUTOSYS. Relasjonen mellom nyttelast og kjøretøyets relative nedbrytende effekt ble benyttet til å uttrykke kjøretøyenes vegvennlighet.

I denne analysen ble det, i motsetning til COST 334, for boggi og trippelaksler forutsatt en ikke lik fordeling av belastningen på de enkelte aksler. Mer ujevn lastfordeling for boggiaksler med luftfjæring enn for boggiaksler med bladfjærer ”spiste opp” en den av luftfjæringens positive effekt.

Uttrykk som er gjengitt ovenfor, er godt egnet til spesielle analyser av fremtidige kjøretøytipers relative betydning for lasterelatert nedbrytning av vegkonstruksjoner. De er ikke like god egnet i fremtidige dimensjoneringsystemer på grunn av sin kompleksitet og at de er avhengige av data som ikke er like lett tilgjengelige. Dimensjonering av veger må dessuten baseres på vegens nedbrytning på grunn av belastninger fra et stort spekter av tunge kjøretøy.

For dimensjoneringsformål vil man som regel være nødt til å basere seg på enklere uttrykk, som f.eks. uttrykkene nedenfor som er hentet fra MnRoad Project i USA.

$$EDF_S = \left(\frac{FA}{18 \times 0,552} \right)^{4,15} + m_1 \times \left(\frac{SA}{18} \right)^{4,15} + m_2 \times \left(\frac{TA}{18 \times 1,85} \right)^{4,15}$$

$$EDF_R = \left(\frac{FA}{18 \times 0,523} \right)^{3,85} + m_1 \times \left(\frac{SA}{18} \right)^{3,85} + m_2 \times \left(\frac{TA}{18 \times 1,85} \right)^{3,85}$$

- hvor
- EDF_S = Equivalent damage factor with respect to serviceability
 - EDF_R = Equivalent damage factor with respect to roughness (IRI)
 - FA = front axle load, single tyre (lbs)
 - SA = single axle load, dual tyre (lbs)
 - TA = tandem axle load, dual tyre (lbs)
 - m₁ = no of single axles per vehicle (front axle excluded)
 - m₂ = no of tandem axles per vehicle

Tilsvarende uttrykk er som en del av MnRoad Project utviklet for tilstandsutviklingen med hensyn på spor. I dette uttrykket fant man det nødvendig å benytte eksponenten 2,98 for enkeltaksler og 3,89 for tandemaksler.

Er ekvivalent antall 10 tonns aksellaster en egnet parameter i fremtidens dimensjonerings-systemer?

I de fleste land, også i de nordiske, har man gjennom de siste 50 årene har man hatt relativt grove regler for dimensjonering av veger. I disse har anvendelsen av ekvivalent antall 10 tonns aksellaster vært et grovt, men velfungerende uttrykk for tungtrafikkens påkjenninger på vegkonstruksjonen. Også for de andre inngansparametre, som f.eks. materialeegenskapene og deres variasjon med nedbør og temperatur, har man benyttet relativt grove gjennomsnittsverdier. I tillegg kommer at selve beregningsreglene har vært relativt enkle. Det har på mange måter vært en fornuftig balanse mellom grovheten i de forskjellige elementer som inngår i en dimensjonering. Usikkerheten i analyseresultatet har man delvis kompensert for ved å legge inn en ekstra sikkerhet (uvitenhetsfaktor) i beregningene.

Denne situasjonen er gjennom de seinere års utvikling i ferd med å bli endret. Siden midten av 1960-årene har det ved et stort antall laboratorier vært gjennomført utmatningsanalyser av asfalt. Deformasjonsegenskapene for asfalt har vært gjenstand for omfattende analyser siden midten av 1970-årene. De mekanisk stabiliserte materialers egenskaper og deres variasjoner på grunn av påkjenningen og andre forhold, har kanskje hengt en del etter, men også på dette området er

kunnskapene blitt vesentlig bedre i de seinere år. Vi er med andre ord i ferd med å få et grunnlag for å kunne utvikle mer pålitelige dimensjoneringsmetoder.

I en rekke land, Norge inklusive, har det vært en relativt uklar oppfatning om hva som menes med begrepet dimensjoneringsperiode. Det har bl.a. ikke alltid vært noen bredt akseptert kobling mellom dimensjoneringsperiode og den tilstandsutvikling man kan observere. Det har blant annet ført til at det skal ganske grove feildimensjoneringsperioder til før fagfolk utenfor "menigheten" begynner å reagere på f.eks. korte dekkelevetider for veier dimensjonert og bygget etter vegnormalstandard. Det mest bemerkelsesverdige ved denne uklare situasjonen er at den opprinnelige AASHO-dimensjoneringen hadde helt klare og entydige koblinger mellom dimensjonering og forventet tilstandsutvikling.

I forhold til den litt pinlige situasjonen som er beskrevet ovenfor, har noen av de andre landene i Norden vært heldigere stillet. To eksempler er kort nevnt nedenfor.

Det er i ATB Väg presisert at dimensjoneringsperioden er identisk med begrepet "Dimensionerande teknisk livslängd" som i VVFS 2004:031 (Vägverkets föreskrifter om bärformåga, stadga och beständighet hos byggnadsverk vid byggande av vägar och gator) er definert som "Förutsatt period för vilken ett bärverk eller delar av det skal användas för sitt avsedda ändamål utan at större reparationer blir nödvändiga". Det er med andre ord en klar kobling mellom begrepet dimensjoneringsperiode og forventet tilstandsutvikling for vegoverbygningen.

Det danske dimensjoneringsystemet MMOPP gir for veier med tradisjonell oppbygging en mulighet for å velge mellom tre nivåer med hensyn på dimensjonering. Nivå 3 er i realiteten en simulering av fremtidig tilstandsutvikling, hvilket gir et godt grunnlag for i ettertid å kontrollere tilstandsutviklingen mot den som observeres i virkeligheten og dermed vurdere om dimensjoneringen kvalitetsmessig holder mål eller ikke.

På spørsmålet om dimensjoneringsmetodene er tilpasset fremtidens trafikkpåkjenninger tror jeg svaret bør være et betinget JA. Det vil ikke være vanskelig med relativt enkle modifiseringer å få metodene tilpasset fremtidens trafikkpåkjenninger, men det er under en klar forutsetning om at man er tilfreds med den usikkerhet som dagens dimensjonering gir. Det er i denne sammenheng kanskje nødvendig å presisere at metodene i de nordiske land er forskjellige og dermed er det også forskjeller med hensyn til beregningenes presisjon og spredning.

Dersom man endrer problemstillingen i overskriften til dette innlegget til å fokusere på om eksisterende metoder oppfyller de krav man kan og bør stille til fremtidige dimensjoneringsmetoder, tror jeg svaret blir et klart NEI. Man må forvente at kravene til dimensjoneringens pålitelighet vil bli strengere og tydeligere. Samtidig er man i ferd med å få den kunnskap som er nødvendig for å utvikle mer påliteligere systemer. Bedre kunnskap om materialeegenskaper og en langt bedre kunnskap om trafikkpåkjenningene, blant annet gjennom WIM-data er to eksempler på dette.

Et viktig spørsmål til slutt blir da om anvendelsen av ekvivalent antall 10 tonns aksellaster har noen plass i et fremtidig dimensjoneringsystem som oppfyller de krav som settes. Som det fremgår av diskusjonene over, vil bruk av ekvivalent antall 10 tonns aksellaster kreve et helt sett av forskjellige verdier avhengig av hvilken tilstandsparameter man vurderer, materialene i grunnen og i overbygningen, det store spekter av tunge kjøretøy på vegene etc. etc. Jeg tror at ekvivalent antall 10 tonns aksellaster med den nøyaktighet som kreves i et fremtidig dimensjoneringsystem vil bli så omfattende og komplekst at man like godt kan ta skrittet fullt ut og benytte faktiske data direkte, slik ME-PDG i USA gjør.

Referanser

1. Tuomo Kallionpää
Flexible Pavement Design, Practice in Finland
NVF 34, Seminar on Pavement Design System and Pavement Performance Models
Reykjavik 22.-23.3.2007
2. Tomas Winnerholt
Pavement Design in Sweden
NVF 34, Seminar on Pavement Design System and Pavement Performance Models
Reykjavik 22.-23.3.2007
3. Gregers Hildebrandt
The Danish Pavement Design Guide
NVF 34, Seminar on Pavement Design System and Pavement Performance Models
Reykjavik 22.-23.3.2007
4. Ragnar Evensen and Paul Senstad
Distress and damage factors for flexible pavements
Publication no 66, Norwegian Road Research Laboratory, 1992
5. Paul Senstad
Sluttrapport for etatsatsningsområdet Bedre utnyttelse av vegens bæreevne
Publikasjon nr 75, Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 1994
6. R. R. Addis
COST 334 Effects of Wide Single tyres and dual Tyres, Executive summary
<http://www.minvenw.nl/rws/dww/home/cost334tyres/>
7. John Aurell & Thomas Wadman
Vehicle combinations based on the modular concept.
Rapport nr 1/2007, NVF Utvalg 54
8. Vägverket
Vägverkets föreskrifter om bärförmåga, stadga och bestandighet hos byggnadsverk vid byggande av vägar och gator
Vägverkets författningssamling VVFS2004:31
9. Vejdirektoratet
Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger
Vejregler, marts 2007