HÅNDBOG

VEJUDSTYR

HÅNDBOG I ANVENDELSE AF EFTERGIVELIGE MASTER

Marts 2008

Vejregelrådet

Vejdirektoratet

FORORD

Denne håndbog i anvendelse af eftergivelige master er udarbejdet af vejregelarbejdsgruppe P.11 Udstyr for veje og bygværker.

Håndbogen tager udgangspunkt i standarden ***DS/EN 12767 Vejudstyr. Eftergiveligt vejudstyr. Krav og prøvningsmetoder*** og skal ses som et supplement til ***Udbudsforskrifter for Eftergivelige master*** for så vidt angår den praktiske anvendelse af eftergivelige master.

Denne udgave håndbogen er en revision af den tidligere udsendte udgave, dateret september 2005. Håndbogen er nu kompletteret med afsnittene ”Eksempler” og ”Økonomi”. I forbindelse med revisionen er der foretaget en ajourføring af håndbogen med de ændringer, der er en konsekvens af udsendelsen af DS/EN 12767:2007 i november 2007. Den tidligere udgave af håndbogen var baseret på bestemmelserne i DS/EN 12767:2000.

Håndbogen

Håndbogen er bygget op i fem hovedafsnit med gennemgang af:

- Krav til eftergivelige master
- Dimensionering
- Anvendelse
- Eksempler
- Økonomi

Håndbogen indeholder en række fotos og tegninger af de enkelte typer af eftergivelige master til belysning af deres virkemåde samt resultater opnået ved test og erfaringer fra registrerede påkørsler af masterne.

Det er ikke håndbogens intention at fremhæve det ene fabrikat af eftergivelige master frem for det andet, men udelukkende at give en beskrivelse af, hvordan de enkelte mastetyper virker i teori og praksis.

Der rettes en tak til de personer og firmaer, der har stillet billedmateriale til rådighed i forbindelse med udarbejdelse af håndbogen.

Arbejdsgruppe P.11

Vejregelarbejdsgruppe P.11 havde ved revisionen følgende medlemmer:

- Teknikumingeniør John Kjærsgaard, Vejdirektoratet (formand)
- Akademiingeniør Niels Lyster (formand indtil november 2007)
- Civilingeniør Tim Larsen, TL-Engineering (sekretær)
- Teknikumingeniør Erik Petersen, DONG Energy
- Civilingeniør Kai Sørensen, DELTA Lys og Optik
- Teknikumingeniør Ole Hans-Jørgen Jensen, Vejdirektoratet, Vejcenter Syddanmark
- Arkitekt M.A.A. Johannes Vindum, Møller & Grønborg AS
- Civilingeniør Peter Johnsen, Johnsen Consult
- Akademiingeniør Henrik Aagaard, Dragør Kommune
- Teknisk assistent Inge Andersen, Næstved kommune

Ad hoc gruppe

I denne udgave af håndbogen er der som tidligere nævnt tilføjet et afsnit med eksempelsamling og et med økonomi samt supplerende oplysninger om anvendelse. Disse afsnit er udarbejdet af en ad hoc gruppe under arbejdsgruppe P.11. Ad hoc gruppen havde følgende sammensætning:

- Civilingeniør Tim Larsen, TL-Engineering (formand)
- Civilingeniør Jerrik Gro Jensen, Rambøll Nyvig (sekretær)
- Anders Møller Gaardbo, Vejdirektoratet
- Thorkild Vestergaard, Viborg Kommune
- Henrik Aagaard, Dragør Kommune
- Jan Korsgaard, Gladsaxe Politi

Godkendelse

Håndbogen har været udsendt til frivilligt brug i perioden december 2004 til marts 2005 sammen med de tilhørende udbudsforskrifter for eftergivelige master med henblik på erfaringsopsamling. Efterfølgende blev håndbogen behandlet og godkendt til udsendelse af Vejregelrådet den 12. september 2005.

Efter 2005 er håndbogen blevet suppleret med et nyt afsnit 4 med eksempler på brug af eftergivelige master til afmærkningsmateriel, vejbelysningsmateriel og signalanlæg, samt et nyt afsnit 5 med en beskrivelse af økonomiske konsekvenser ved anvendelse af eftergivelige master, og endelig er afsnit 3 om anvendelse suppleret med yderligere information.

Den reviderede udgave blev forelagt for Vejregelrådet den 13. marts 2007 og blev godkendt med ønske om, at der skulle medtages en bemærkning om den samfundsøkonomiske gevinst ved brug af eftergivelige master i indledningen i kapitel 5.

Den foreliggende udgave af håndbogen er i den efterfølgende periode blevet ændret på flere punkter siden behandlingen i Vejregelrådet, bl.a. er denne udgave af håndbogen ajourført i forhold til den reviderede udgave af DS/EN 12767:2007, der blev udsendt i november 2007.

Af andre ændringer kan nævnes, at afsnittet om computersimulering er udgået, da der i den mellemliggende periode er udviklet og markedsført flere forskellige typer af eftergivelige master, som er testet og opfylder kravene i henholdt til DS/EN 12767, således at konkurrenceparameteren nu er tilstede. Kapitel 5 er blevet suppleret med et nyt afsnit 5.3 om samfundsøkonomi, og en række øvrige afsnit i håndbogen er gjort mere læsevenlige og er opdateret i forhold til 2005 udgaven.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 KRAV TIL EFTERGIVELIGE MASTER.....5

1.1 Mastetyper 5
1.1.1 HE-master 6
1.1.2 LE-master.....6
1.1.3 NE-master 6

1.2 Sikkerhedsklasser.....9

1.3 Test.....10
1.3.1 Forhåndstestede master.....10
1.3.2 Tavler monteret på flere master 10

1.4 Eksempler på udførelse af tests.....11

1.5 Dokumentation 16

2 DIMENSIONERING 18

2.1 Vindlast 18

2.2 Punktlast 19

2.3 Monteringsbeslag 19

2.4 Fundamenter.....20

3 ANVENDELSE.....21

3.1 Trafiksikkerhedsmæssige hensyn 21

3.2 Trafiksikkerhedsmæssig effekt 22

3.3 Sikkerhedszone.....24

3.4 Master med afskæringsled.....29
3.4.1 Afskæringsled Type 1.....30
3.4.2 Afskæringsled Type 2.....31
3.4.3 Afskæringsled Type 3.....32
3.4.4 Fordele 32
3.4.5 Ulemper 32

3.5 Master med brudled.....36
3.5.1 Brudled Type 1 37
3.5.2 Brudled Type 2 37
3.5.3 Fordele 38
3.5.4 Ulemper 38

3.6 Master uden brud- eller afskæringsled 38
3.6.1 Rørmaster.....38
3.6.2 Begrænsninger i anvendelse 40
3.6.3 Fordele 40
3.6.4 Ulemper 40

3.7 Prioritering og valg 40

4 EKSEMPLER.....42

4.1 Afmærkning.....42

4.2 Belysningsanlæg 44
4.3 Signalanlæg 46
5 ØKONOMI 48
5.1 Indkøb 48
5.2 Drifts- og vedligehold 48
5.3 Samfundsøkonomi 51
5.3.1 Mulig besparelse af uheldsomkostninger 52
5.3.2 Hvad skal der investeres 53

1 KRAV TIL EFTERGIVELIGE MASTER

Eftergivelige master er underlagt de krav, der er beskrevet i ***DS/EN 12767:2007 Vejudstyr. Eftergiveligt vejudstyr. Krav og prøvningsmetoder***, for at kunne betegnes som eftergivelige og dermed opnå en CE-mærkning.

Uddrag af DS/EN 12767, DS/EN 12899-5 og DS/EN 40-5 er gengivet med tilladelse fra DANSK STANDARD.

1.1 Mastetyper

Eftergivelige master deles op i følgende mastetyper:

- **HE**-mast (**H**øj **E**nergi absorbering): Eftergivelig mast kendetegnet ved, at et køretøj nedbremses på en kontrolleret måde i forbindelse med en påkørsel.

- **LE**-mast (**L**av **E**nergi absorbering): Eftergivelig mast kendetegnet ved, at et køretøj delvist nedbremses i forbindelse med en påkørsel.

- **NE**-mast: (**N**on **E**nergi absorbering): Eftergivelig mast kendetegnet ved, at et køretøj ikke nedbremses af betydning i forbindelse med en påkørsel.

Nogle af mastetyper findes både med og uden brud- eller afskæringsled.

Det er meget forskelligt, hvor stor en hastighed et køretøj fortsætter med efter en påkørsel af de forskellige mastetyper. Dette forhold skal man især være opmærksom på i byområder, hvor risikoen for følgeskader på både personer og materiel er større på grund af flere cyklister og fodgængere, stor trafiktæthed og lille afstand mellem genstande både på og uden for vejarealerne.

Krav til bilernes nedbremsning i forbindelse med en påkørsel er opstillet i DS/EN 12767:2007 for de forskellige mastetyper, se Tabel 1.

Eksempelvis må en bil, der kører 50 km/h, fortsætte med mellem 5 og 50 km/h efter påkørsel af en NE-mast, mens hastigheden efter en påkørsel af en LE-mast må ligge mellem 0 og 5 km/h, og en HE-mast vil standse bilen fuldstændigt.

Masterne skal altid testes ved lav hastighed (35 km/h). Herudover vælger producenten, om masterne skal testes ved 50 km/h, 70 km/h eller 100 km/h.

Den valgte hastighed, som masterne er klassificeret til, bør så vidt muligt svare til den ønskede hastighed på vejen ($V_ø$). Master testet ved 50 km/h accepteres for veje med $V_ø \leq 50$ km/h, master testet ved 70 km/h accepteres for veje med $V_ø \leq 80$ km/h, og master testet ved 100 km/h accepteres for alle hastigheder.

Hastighed før påkørsel v_f (km/h)	50	70	100
Klassificering	Hastighed efter påkørsel v_e (km/h)		
HE (Høj Energi absorbering)	$v_e = 0$	$0 \leq v_e \leq 5$	$0 \leq v_e \leq 50$
LE (Lav Energi absorbering)	$0 < v_e \leq 5$	$5 < v_e \leq 30$	$50 < v_e \leq 70$
NE (Non Energi absorbering)	$5 < v_e \leq 50$	$30 < v_e \leq 70$	$70 < v_e \leq 100$

Tabel 1. Klassificering af eftergivelige master som funktion af hastighed før og efter en påkørsel. Kilde: DS/EN 12767:2007 Table 2 – Energy absorption categories.

Leverandøren skal oplyse klassificeringen af den tilbudte mast ud fra de i Tabel 1 angivne værdier.

Hvis den samme mastetype (type 1, 2 eller 3) kan klassificeres både som NE-mast, LE-mast og HE-mast afhængig af mastehøjden, skal masteleverandøren oplyse, ved hvilken mastehøjde masten skifter klassificering.

På veje, hvor den ønskede hastighed er større end 50 km/h, bør der inden for vejens sikkerhedszone (se Tabel 4 side 24) anvendes eftergiveligt vejudstyr.

1.1.1 HE-master

HE-master udføres normalt i en følgende tre forskellige udformninger:

- Type 1 er udformet som en gitterkonstruktion.
- Type 2 er udformet som en tyndvægget mangekantet, f.eks. ottekantet, hul konstruktion med eller uden revneanvisere.
- Type 3 er udformet som en tyndvægget cirkulær eller en oval hul konstruktion med eller uden revneanvisere.

Eksempel på udformning af de forskellige typer er vist i Figur 1.

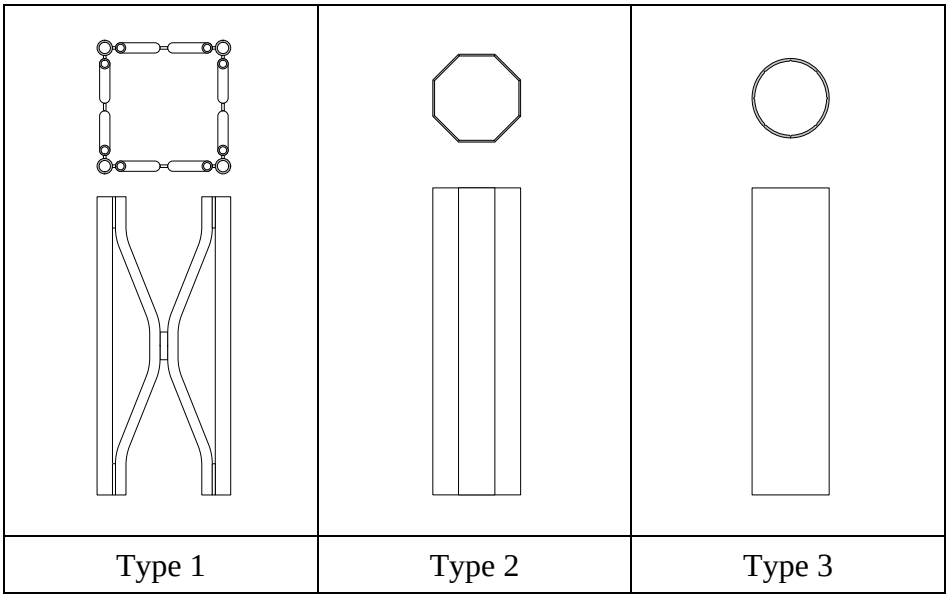
1.1.2 LE-master

LE-master udføres normalt i de samme udformninger, som er gældende for HE-master (se Figur 1), men er kendetegnet derved, at masten er for kort eller for svag til at kunne optage tilstrækkelig energi til at kunne klassificeres som en HE-mast.

1.1.3 NE-master

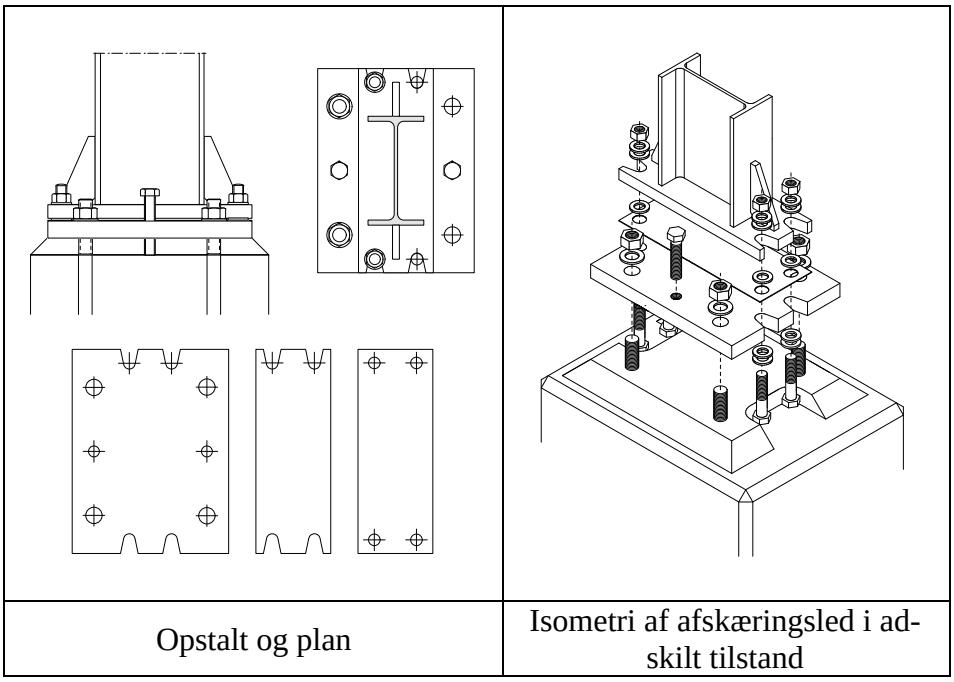
NE-master kan udføres uden brud- eller afskæringsled eller med brud- eller afskæringsled.

NE-master uden brud- eller afskæringsled kan udføres i de samme udformninger, som er gældende for HE- og LE-master (se Figur 1). Masten er enten for kort til at kunne optage tilstrækkelig energi til at kunne klassificeres som en HE- eller LE-mast eller også forekommer der ofte først en deformation samt en efterfølgende overklipning af konstruktionen ved eller lige omkring fundamentniveau. Endelig kan masten deformeres og i nogle tilfælde efterfølgende trækkes op ad fundamentet.

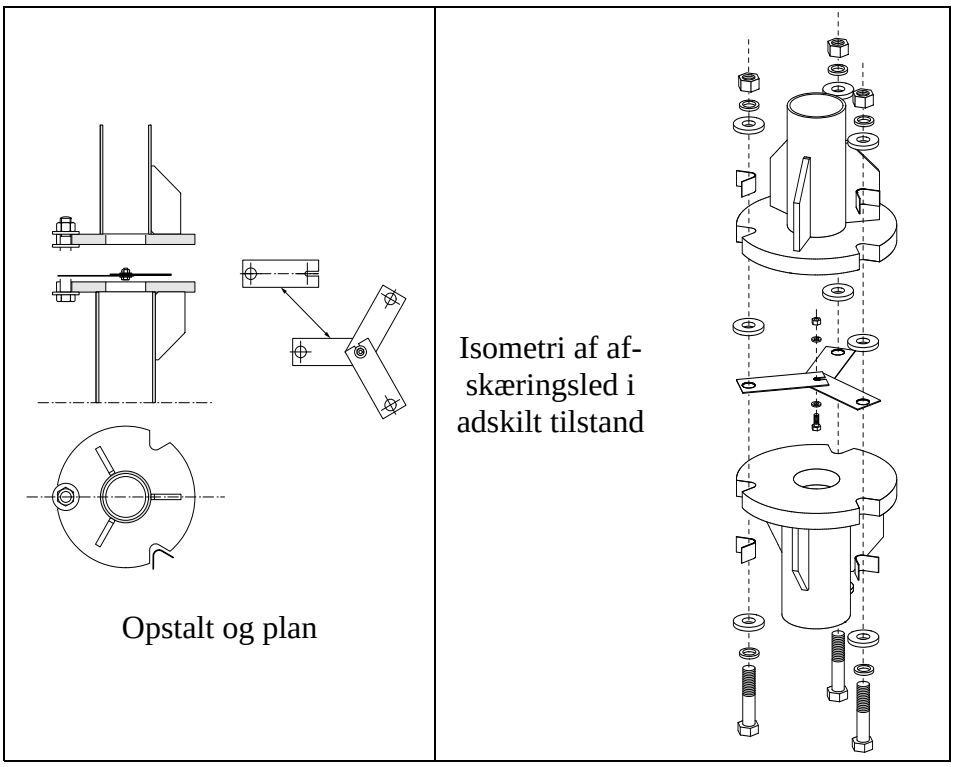


Figur 1. Principielle udformninger af HE-master.

NE-master med afskæringsled udføres normalt efter principperne vist i Figur 2 eller Figur 3.



Figur 2. Retningsafhængigt afskæringsled. Rammes afskæringsleddet fra siden, vil det ikke udløses, og masten vil være at betragte som en fast genstand.



Figur 3. Retningsuafhængigt afskæringsled. Afskæringsleddet vil virke uanset påkørselsretning.

Den ene type er karakteriseret ved, at den kun virker ved påkørsel inden for en begrænset påkørselsvinkel (Figur 2) og er dermed retningsafhængig, mens den anden type er uafhængig af påkørselsretningen (Figur 3) og er dermed retningsuafhængig. De viste eksempler er fra Vejregler for afmærkningsmateriel.

NE-master med brudled udføres normalt efter princippet vist i Figur 29 side 37 eller Figur 30 side 38.

Master forsynet med brudled er karakteriseret ved, at bolte eller andet i samlingen bryder ved en bestemt påvirkning ved en kombination af overklipning og overtrækning afhængigt af, hvor højt oppe over brudleddet masten træffes ved en påkørsel. Master med brudled er som hovedregel retningsuafhængige over for påkørsler.

Fælles for NE-master med brud- eller afskæringsled
De aktuelle tilspændingsmomenter af bolte skal oplyses af masteleverandøren.

Masteleverandøren skal som en del af leverancen medsende forskrifter for tilspænding af bolte i brud- eller afskæringsleddet.

Masteleverandøren skal ligeledes som en del af leverancen aflevere en Drifts- og vedligeholdsmanual, der skal indeholde en beskrivelse af en procedure for periodisk kontrolmåling af tilspændingsmomentet i brud- eller afskæringsleddet, hvis det er nødvendigt for samlingens virkemåde.

1.2 Sikkerhedsklasser

Ud over klassificering i de tre forskellige mastetyper HE, LE og NE er masterne inddelt i sikkerhedsklasser ud fra, hvor stor en risiko masterne udgør ved en påkørsel. Indpasningen i sikkerhedsklasserne er bestemt ud fra de opnåede testværdier for ASI (Acceleration Severity Index) og THIV (Theoretical Head Impact Velocity).

ASI er et udtryk for kroppens deceleration for en person med sikkerhedssele. THIV er et udtryk for hovedets hastighed mod forruden eller interiøret i bilen for en person uden sikkerhedssele.

I DS/EN 12767:2007 opereres med 5 sikkerhedsklasser, hvoraf kravene til klasserne 1 - 4 er angivet i Tabel 2.

Klasse 0 benyttes til master, der ikke er testet, eller ikke kan opfylde kravene til sikkerhedsklasserne.

Jo højere talværdien er for sikkerhedsklasse, jo mindre er risikoen for personskader ved en påkørsel.

Mastetype	Sikker-hedsklasse	Hastighed			
		35 km/h		50, 70 eller 100 km/h	
		Maksimumværdier		Maksimumsværdier	
		ASI	THIV	ASI	THIV
HE	1	1,0	27	1,4	44
HE	2	1,0	27	1,2	33
HE	3	1,0	27	1,0	27
LE	1	1,0	27	1,4	44
LE	2	1,0	27	1,2	33
LE	3	1,0	27	1,0	27
NE	1	1,0	27	1,2	33
NE	2	1,0	27	1,0	27
NE	3	0,6	11	0,6	11
NE	4	ingen krav			-[1]

Tabel 2. Opdeling i sikkerhedsklasser efter opnåede testværdier for ASI (Acceleration Severity Index) og THIV (Theoretical Head Impact Velocity). Kilde: DS/EN 12767 Table 5 – Occupant risk.

Alle sikkerhedsklasser giver dog en stor sandsynlighed for, at en normal person uden sikkerhedssele vil kunne overleve en påkørsel af en mast.

Sikkerhedsklasse 4 anvendes udelukkende til at bedømme simple konstruktioner, som f.eks. kantpæle.

[1] Se afsnit 5.6 i DS/EN 12767.

Leverandøren skal oplyse sikkerhedsklassen af den tilbudte mast ud fra de i Tabel 2 angivne værdier.

1.3 Test

Der skal principielt udføres en test for hver anvendelsesmulighed af den enkelte mastetype. Således skal en mastetype f.eks. gennemgå mindst tre test, hvis den samme mastetype skal anvendes til tavlemontage, som belysningsmast eller til signalanlæg.

Uanset anvendelsesområde for mastetypen er det dog kun nødvendigt at udføre én test ved 35 km/h med den mast, der har det største modstandsmoment for bøjningspåvirkning.

Der er ligeledes muligt inden for bestemmelserne i DS/EN 12767:2007 at reducere antallet af test ved at gruppere masterne i produktfamilier.

Test af master skal i henhold til DS/EN 12767 foretages med en standard personbil, hvis totalvægt er ca. 900 kg.

Testresultater er også gældende for master monteret med andre tavler og beslag, der ikke ”afstiver” eller ”understøtter” masten signifikant mere end de ved testen anvendte.

1.3.1 Forhåndstestede master

Stålmaster anvendt til opsætning af tavler, klassificeres til 100NE2, hvis nedenstående betingelser er opfyldt, da de én gang for alle er testet jf. Annex F i DS/EN 12767:2007:

- Stålmast:

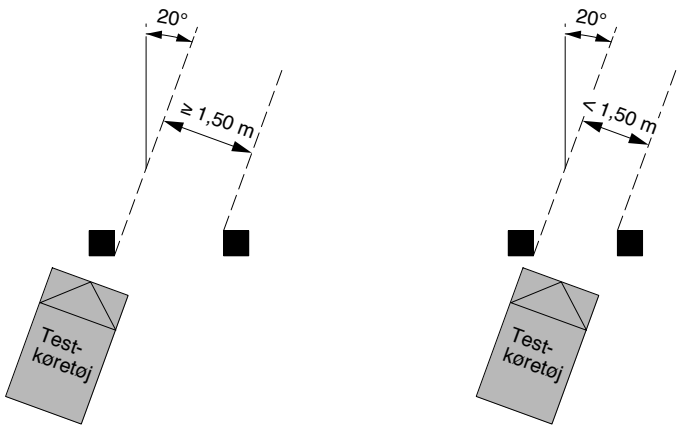
ydre diameter	≤ 89 mm
godstykkelse	≤ 3,2 mm
stålkvalitet	≤ S355J2H
tavlestørrelse	≤ h × b = 1500 × 1150 mm pr. mast
frihøjde	≥ 2100 mm
fundament	beton eller lignende.

Ovenstående gælder for en masteafstand på 1,50 m eller større. Er masteafstanden mindre end 1,50 m, skal det benyttes en mast med ydre diameter på maks. 76 mm og en godstykkelse på maks. 3,2 mm.

Tilsvarende gælder for master fremstillet af aluminium, hvis flydegrænse er mindre eller lig med, hvad der er gældende for stålmaster.

1.3.2 Tavler monteret på flere master

Hvis tavler monteres på to eller flere master, og den frie afstand målt mellem standerne i en vinkel på 20° i forhold til kørselsretningen er mindre end 1,50 m skal der foretages en påkørselstest, hvor begge master påkøres jf. afsnit 4.3.7 i DS/EN 12767. Afstanden mellem masterne skal måles, som vist på Figur 4.



Figur 4. Er afstanden mellem masterne målt ved 20° påkørselsvinkel større end eller lig med 1,50 m, påkøres den nærmeste mast (vist til venstre). Er afstanden mindre end 1,50 m, skal påkørslen foretages midt mellem masterne (vist til højre).

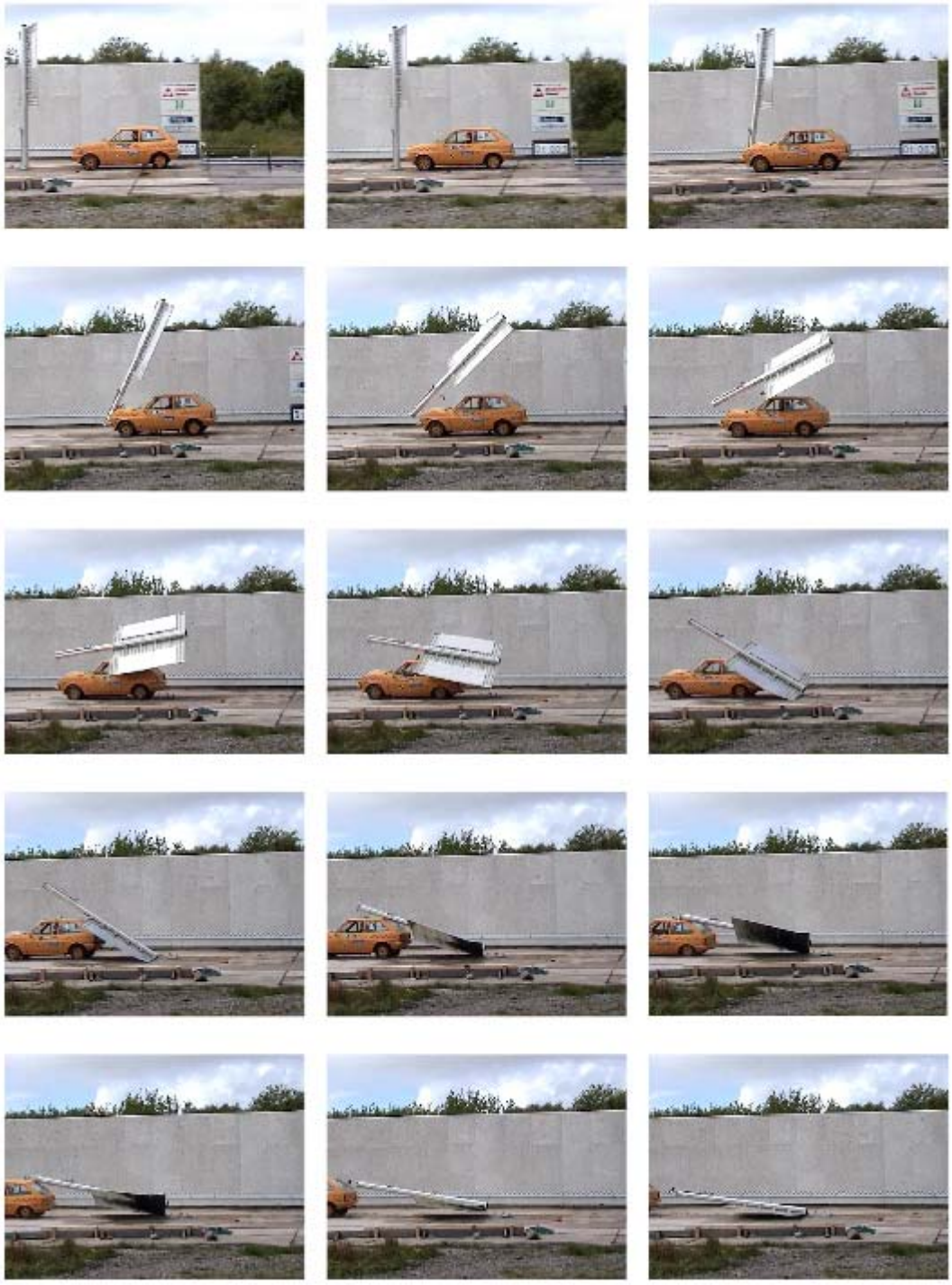
1.4 Eksempler på udførelse af tests

Figur 5 viser en påkørselstest af en skiltekonstruktion bestående af én tavle og to eftergivelige master med brudled i form af brudbolte. Påkørselshastigheden var 100 km/h.

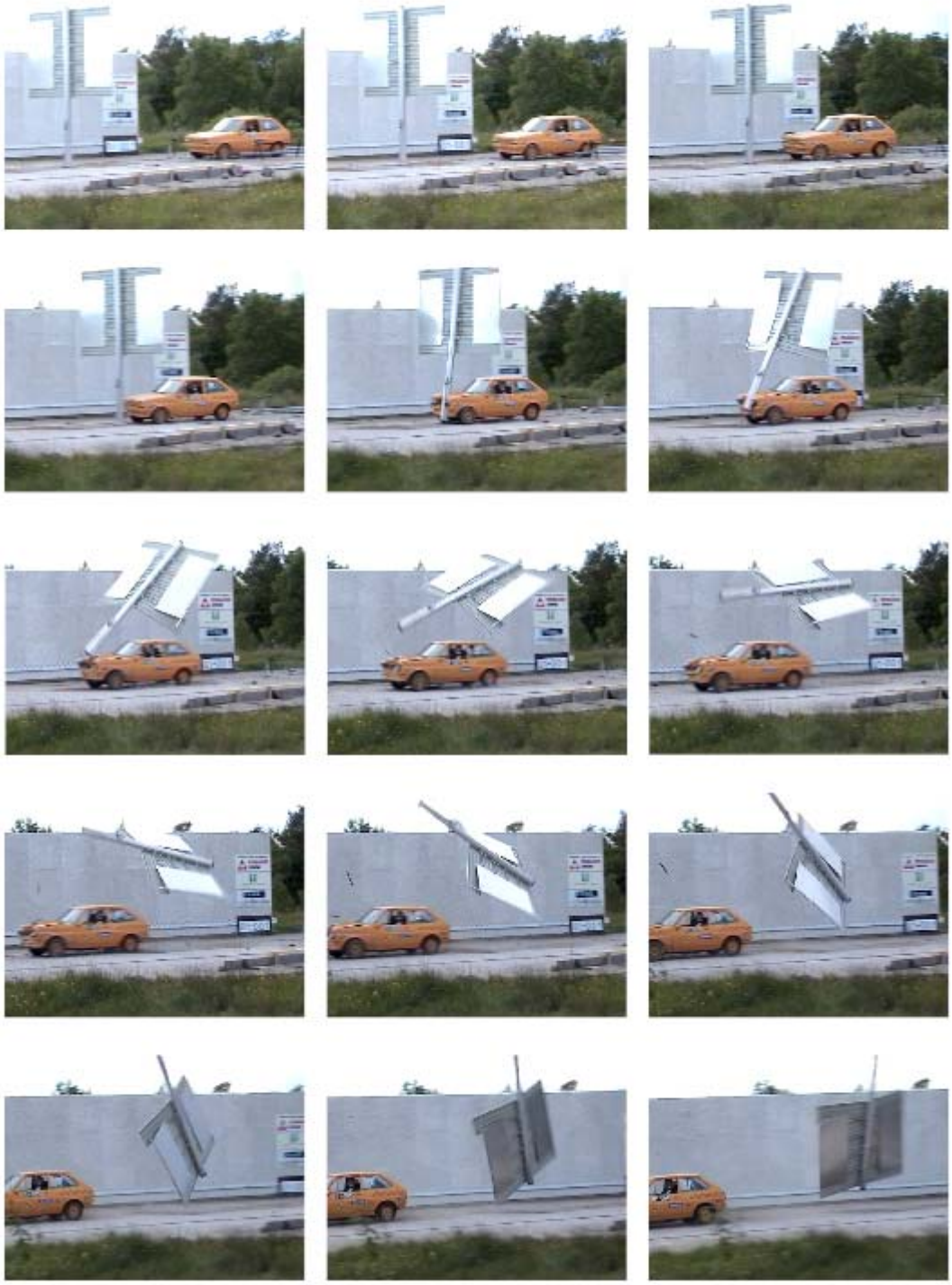
Figur 6 og Figur 7 viser en påkørselstest af en skiltekonstruktion bestående af én tavle og én eftergivelig mast med afskæringsled. Påkørselshastigheden var hhv. 35 km/h (Figur 6) og 100 km/h (Figur 7).

Figur 8 viser en påkørselstest af en signalmast ved 75 km/h.

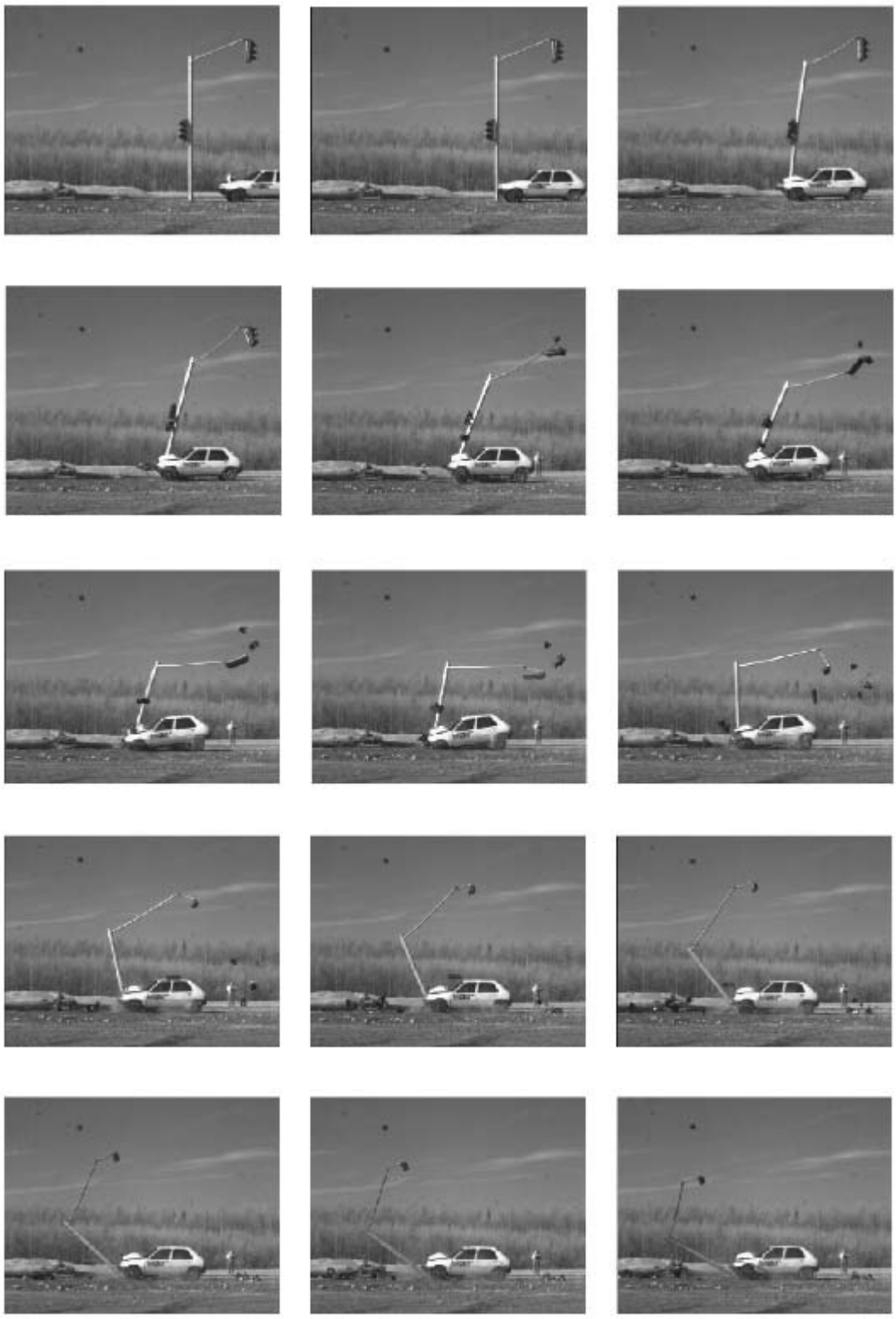
Figur 5. Billeder fra videooptagelse af test af Lattix mast udført d. 20. maj 1999 af SENTEK, Norge. Hastighed af testkøretøj er 100 km/h. Masten virker ved et brudled i form af brudbolte og er af typen NE. (Videooptagelse: TL-Engineering)



Figur 6. Billeder fra videooptagelse af test af Norskilt mast udført d. 21. juni 2001 af SENTEK, Norge. Hastighed af testkøretøj er 35 km/h. Masten virker ved et afskæringsled og er af typen NE. (Videooptagelse: TL-Engineering)



Figur 7. Billeder fra videooptagelse af test af Norskilt mast udført d. 21. juni 2001 af SENTEK, Norge. Hastighed af testkøretøj er 100 km/h. Masten virker ved et afskæringsled og er af typen NE. (Videooptagelse: TL-Engineering)



Figur 8. Billeder fra videooptagelse af test af DanIntra mast. Hastighed af testkøretøj er 75 km/h.
Masten virker ved deformation af mast og er af typen HE.
(Videooptagelse: DanIntra)

1.5 Dokumentation

På baggrund af udførte påkørselsforsøg udfærdiger testinstitutionerne en rapport, der beskriver, hvad der er testet, og hvilket resultat der er opnået for den testede mastetype.

En typisk konklusionsside fra en testrapport er vist i Figur 9.

Aluminium traffic sign "MORA MAST"

Assessment of passive safety (EN 12767 "Passive safety of support structures for road equipment. Requirements and test methods")

On the basis of the impact test reports 21014 and 21015, dated 23.4.2003, the tested combination fulfils the performance requirements for the passive safety.

Performance type:

Speed class:	**100** km/h
Energy absorption category:	**NE** (non-energy absorbing)
Occupant safety level:	**2**

Espoo 23.4.2003

Kari Laakso
Research scientist
M.Sc. (tech.)

Department of Civil and Environmental Engineering
P.O.Box 2100, FIN-02015 HUT, Finland
tel. +358 9 4511, fax +358 9 451 3758
http://www.hut.fi

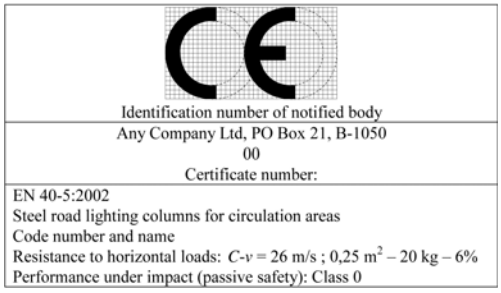
Figur 9. Typisk konklusionsside fra testrapport udarbejdet af Helsinki University of Technology, her for Mora mast.

Med udgangspunkt i resultatet fra den udførte test kan et ”Approved Certification Body” udstede et certifikat i form af et CE-mærke for masten.

Af CE-mærket vil masternes klassifikation og anvendelsesområde(r) fremgå.

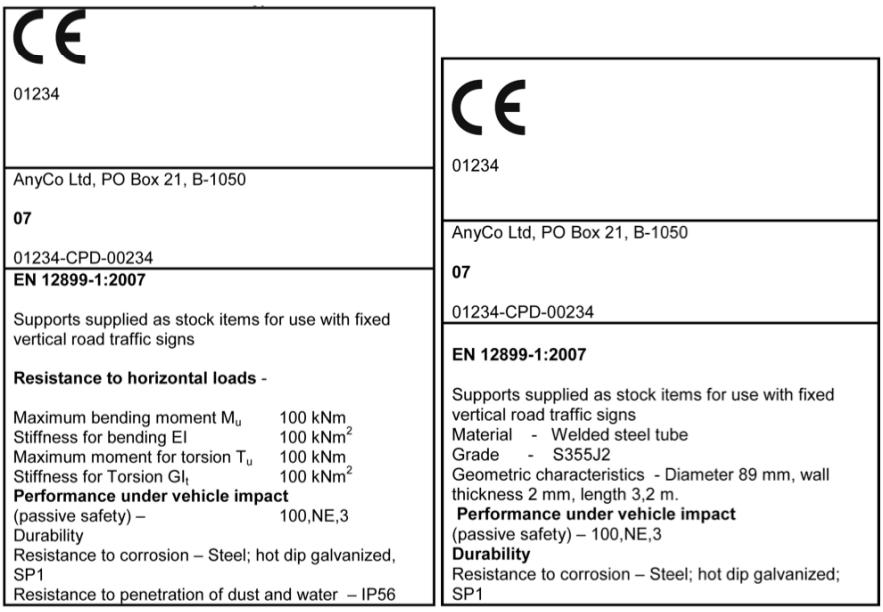
Indtil CE-mærket er udstedt, skal leverandøren kunne dokumentere, at masterne opfylder de stillede krav til eftergivelighed ved hjælp af prøvnings- og testrapporter fra en certificeret prøvningsanstalt.

For belysningsmaster har der været krav om CE-mærkning i en årrække jf. bestemmelserne i DS/EN 40-5. Eksempel på udformning af CE-mærkning af en belysningsmast er vist i Figur 10.



Figur 10. Eksempel på udformning og indhold af et CE-mærke for en belysningsmast. Bemærk, at masten i det viste eksempel ikke er testet iht. DS/EN 12767, da klassen er angivet til ”Class 0”. Kilde: DS/EN 40-5.

Tilsvarende eksempler på CE-mærkning af master til afmærkningsmateriel er vist i Figur 11.



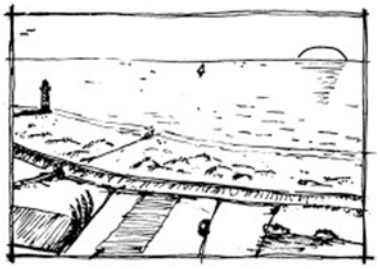
Figur 11. Eksempler på udformning af CE-mærkning af master anvendt til afmærkningsmateriel. Kilde: DS/EN 12899-5.

2 DIMENSIONERING

Eftergivelige master skal dimensioneres efter de gældende vejregler for vejudstyr, dvs. Vejregler for afmærkningsmateriel og Vejregler for Vejbelysningsmateriel.

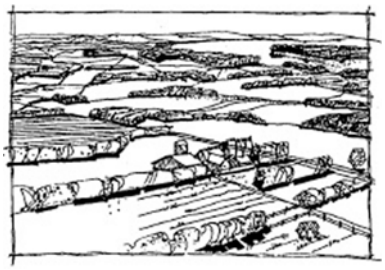
2.1 Vindlast

Det er vigtigt at oplyse, hvilken terrænkategori der er gældende på opstillingsstedet af hensyn til den korrekte dimensionering af mast og fundament jf. DS/EN 1991-1-4:2005 Annex A.



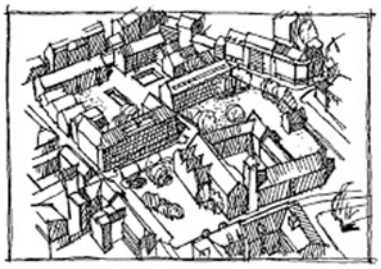
Terrænkategori 0. Hav, kystområde eksponeret fra åbent hav.

Terrænkategori I. Søer eller arealer med negligeabel beplantning og uden forhindringer.



Terrænkategori II. Område med lav vegetation såsom græs og få forhindringer (træer, bygninger) med en afstand på mindst 20 gange forhindringens højde.

Terrænkategori III. Område dækket af vegetation eller bygninger eller med få forhindringer med en afstand på maksimum forhindringens højde.



Terrænkategori IV. Område hvor mindst 15 % udgøres af bygninger med en gennemsnitshøjde større end 15 m.

Figur 12. Terrænkategorier i henhold til DS/EN 1991-1-4:2005 Annex A.

I området, hvor der skiftes fra den ene terrænkategori til den anden, kan der ved dimensionering interpoleres som beskrevet i DS/EN 1991-1-4:2005.

Normalt anvendes terrænkategori II som designgrundlag, men vær opmærksom på, at det ikke er tilstrækkeligt på alle opstillingssteder. På hedesletter, ved søer og andre lignende flade strækninger skal der anvendes terrænkategori I, og nær ved hav og kystområder eksponeret fra åbent hav skal der anvendes terrænkategori 0 som designgrundlag.

2.2 Punktlast

Hvis masterne ønskes dimensioneret for en punktlast, bør følgende værdier anvendes:

- 0,30 kN for normal placering af tavler
- 0,50 kN for placering af tavler udsat for hærværk.

Punktlasten placeres, som vist i Figur 13.

2.3 Monteringsbeslag

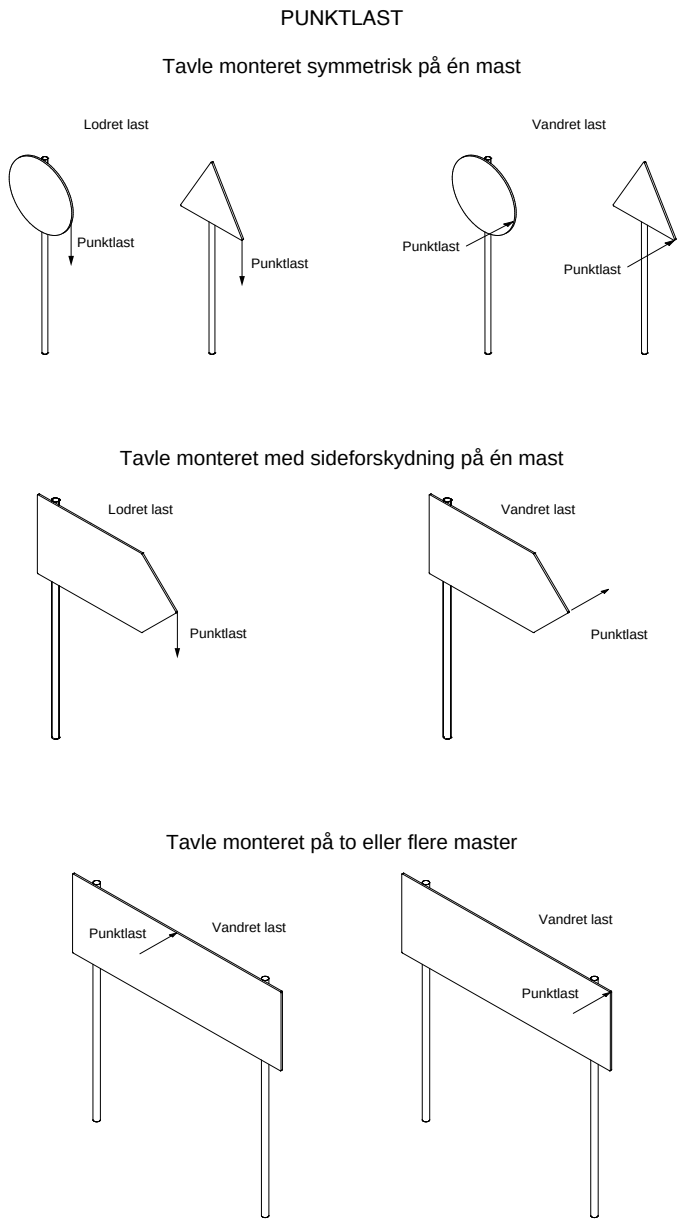
I DS/EN 12767 er anført, at testresultaterne for en stander også er gældende for en stander monteret med andre tavler og beslag, der ikke ”afstiver” eller ”understøtter” standeren signifikant mere end i de ved testen anvendte.

Det bør derfor være en betingelse, at det er masteleverandøren, der enten leverer eller foreskriver de typer af monteringsbeslag, der må anvendes til den pågældende mast, samt i øvrigt specificerer, hvordan beslagene skal monteres på masten, jf. den udførte påkørselstest.

Det er ligeledes vigtigt, at beslaget kan overføre kræfterne fra det monterede udstyr til den eftergivelige mast, uden at den beskadiges. Der skal derfor altid foretages en beregning eller en test af beslag og dets samvirkning med den eftergivelige mast til verifikation af, at kræfterne kan overføres.

Hvis der anvendes monteringsbeslag, der ikke er afpasset til den konkrete mastetype, kan det i værste fald betyde, at masten ikke længere vil være eftergivelig.

Dette er især gældende for master uden brud- og afskæringsled.



Figur 13. Placering af punktlast.

2.4 Fundamenter

Fundamenter til eftergivelige master skal dimensioneres efter de gældende vejregler for vejudstyr, dvs. Vejregler for afmærkningsmateriel og Vejregler for Vejbelysningsmateriel.

For alle fundamenttyper gælder endvidere, at de ikke må beskadiges ved en evt. påkørsel af den eftergivelige mast ud over, at fundamenterne umiddelbart efter påkørsel af mast skal kunne benyttes til montage af en ny tilsvarende eftergivelig mast evt. ved en mindre justering/opretning af fundamentet.

Der skal på forlangende kunne fremvises en bæreevneberegning af fundamenter.

Fundamenter kan udføres som in situ støbte eller præfabrikerede.

Top af nedre brudled, afskæringsled eller fundament må på intet sted have større overhøjde i forhold til det omgivende terræn end 10 cm målt fra færdigreguleret terræn.

3 ANVENDELSE

Eftergivelige master anvendes som en passiv sikkerhedsforanstaltning, der skal mindske risikoen for skader på personer og køretøjer, hvis masterne påkøres i forbindelse med trafikuheld.

Af den grund er det også normsat, at der i tilfælde af nyanlæg af veje i åbent land ikke må forefindes faste genstande (herunder ikke-eftergivelige master) inden for sikkerhedszonen (se afsnit, 3.3) – alternativt skal de faste genstande afskærmes med autoværn (jf. Vejregler for opsætning af vejautoværn og påkørselsdæmpere).

3.1 Trafiksikkerhedsmæssige hensyn

Anvendelse af de forskellige typer eftergivelige master afhænger af forskellige vej- og trafikforhold.

Krav om anvendelse af eftergivelige master bør som hovedregel altid gælde ved:

- anlæg af nye veje
- opsætning af nye master langs eksisterende veje
- systematisk udskiftning af master langs eksisterende veje.

Kravene gælder dog ikke, hvis masterne er placeret bag autoværn (uden for autoværnets arbejdsbredde), uden for vejens sikkerhedszone (se afsnit, 3.3) eller på anden måde, således at de ikke kan blive påkørt.

Af sikkerhedsmæssige årsager bør der altid anvendes eftergivelige master til skilte, lysmaster og signalmaster på veje med stor trafikmængde og ved hastighedsgrænser højere end 50 km/h.

Inden for tæt bebygget område, hvor fartgrænsen normalt er 50 eller 60 km/h anbefales generelt at benytte HE-master til belysningsmaster og LE-master til vejskilte og signalmaster. Årsagen er primært at mindske risikoen for, at cyklister eller fodgængere rammes af vildfarne køretøjer eller master.

Uden for tæt bebygget område, hvor fartgrænsen er 70 km/h eller større, og der er få fodgængere og cyklister, anbefales generelt at anvende HE- eller LE-master til lysmaster og NE-master til vejskilte og LE- eller NE-master til signalmaster. Risikoen for, at fodgængere og cyklister kan rammes af vildfarne køretøjer eller master er her relativt lille.

På følgende steder bør altid anvendes HE-master til belysningsmaster og LE-master til vejskilte og signalmaster:

- hvor det er særligt vigtigt at fange vildfarne køretøjer, fordi der kan være fare for, at de kan fortsætte mod farlige forhindringer som f.eks. træer, brosøjler, støjskærme
- i byområder og andre steder med megen gang- og cykeltrafik

- i midterheller uden autoværn som er tilstrækkeligt brede til, at en påkørt belysnings-, skilte- eller signalmast ikke rager ud på kørebanen og derved kan blive påkørt af andre køretøjer.

NE-master med brud- eller afskæringsled bør normalt ikke anvendes i byområder og andre steder med meget gang- og cykeltrafik pga. faren for, at fodgængere og cyklister kan blive ramt af en påkørt mast.

I Tabel 3 er ovenstående kriterier angivet i tabelform.

Område	**Type**	**NE-master**	**LE-master**	**HE-master**
Tilladt hastighed på 70 km/h og derover - Åbent land - Veje i byer med store sidearealer og ringe cykel- og fodgængertrafik	Vejtavler[a)]	☑	☑	☑
	Vejbelysning	☑	☑	☑
	Signalanlæg	☑	☑	☑
Tilladt hastighed på 50 - 60 km/h - Åbent land med megen cykel- og fodgængertrafik - Byområder - Midterheller uden autoværn - Steder, hvor det er vigtigt at standse køretøjer efter en påkørsel	Vejtavler	(☑) [a)]	☑	☑
	Vejbelysning	☐	☑	☑
	Signalanlæg	☐	☑	☑

a) Til variable tavler bør anvendes NE-master, der slipper ved fundamentet, da tavler med stor egenvægt ellers har en høj risiko for at ryge ind gennem forruden på den påkørende bil.

De eftergivelige mastetyper dækker i korte træk over følgende jf. afsnit 1.1:

- HE-mast (Høj Energi absorbering): Køretøjet nedbremses på en kontrolleret måde ved påkørsel.
- LE-mast (Lav Energi absorbering): Køretøj nedbremses delvist ved påkørsel.
- NE-mast: (Non Energi absorbering): Køretøjet nedbremses stort set ikke ved påkørsel.

Tabel 3. Eksempler på anvendelse af forskellige typer eftergivelige master.

3.2 Trafiksikkerhedsmæssig effekt

Generelt antages, at øget brug af eftergivelige master vil medføre færre dræbte og alvorligt tilskadekomne i trafikken.

Der foreligger ikke danske undersøgelser af effekter af brug af eftergivelige master. Derfor må alle effekter vurderes på baggrund af undersøgelser i udlandet, hvor der p.t. kun foreligger et meget begrænset antal undersøgelser.

Følgende hovedresultater kan uddrages fra det begrænsede antal undersøgelser:

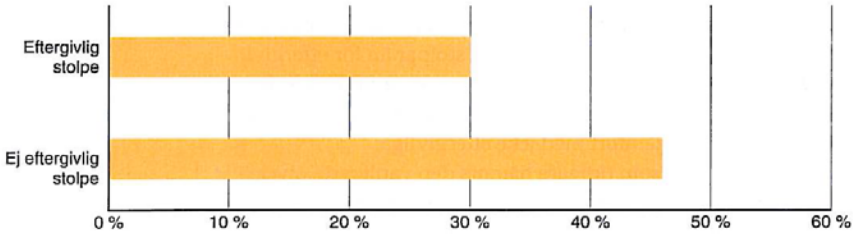
I ”Publikation 2002:109, Vägverket, Analys av singelolyckor med dödlig utgång på det statliga vägnätet, exklusive motorvägar 1997 - 2000”, er der i sammenfatningen anført ” *I 25 olyckor har stolpe orsakat kraftigaste krockvåld. Åtta av stolparna stod vid vägar med ÅDT 2000-*

3999. Uppenbart är att ej eftergivliga stolpar ger svår inträngning av kupé, särskilt stolpar med fackverkskonstruktion. Modernare eftergivliga stolpar bedöms ha kunnat rädda liv i 10 av de 25 olyckorna".

I rapporten *" Farligt nära"* fra Svenska Kommunförbundet refereres, at VTI har udført en detaljeret uheldsanalyse på uheld med faste genstande opdelt i typer for 1994 og 1995 på det svenske vejnet. De viser bl.a. alvorligheden af ulykker med forskellige typer af faste genstande opdelt på hastighedsklasser. Der er bl.a. analyseret 420 ulykker mod belysningsmaster, hvoraf 22 har været mod en eftergivelig mast. Skadesgraden ses af Figur 14. Figuren viser, at der er sket personskade eller dødsfald i 30 % af uheldene med eftergivelige master mod godt 45 % af tilfældene med ikke-eftergivelige master. Dette indikerer en reduktion af skaderisikoen med ⅓ for de eftergivelige master, men det skal bemærkes, at der kun er tale om 22 eftergivelige master ud af 420 i alt, hvilket er et lille statistisk grundlag.

Tabeller och diagram över de inventerade olyckorna mot belysningsstolpar under 1994 och 1995

Diagram 1. Andel olyckor med personskada vid eftergivlig och ej eftergivlig stolpe



Andel olyckor med personskada (inklusive dödsolyckor) av alla olyckor mot stolpar av olika typ i 70- och 90-miljö. (I 50- och 30-miljöer var det för få olyckor mot eftergivliga stolpar för att det skulle gå att göra någon jämförelse.)

Tabell 1. Stolpens konstruktion vid de inventerade olyckorna

Trästolpe	Rörstålstolpe	Eftergivlig stolpe	Totalt
37	361	22	420

Figur 14. Andel af ulykker hvor der er sket personskade eller dødsfald i forhold til alle ulykker med påkørsel af henholdsvis eftergivelige og ikke eftergivelige master. Opgørelsen er foretaget af VTI på uheld i Sverige fra 1994 – 1995[2]. Det er sandsynligt, at forholdene er blevet bedre efter indførelse af EN 12767, fordi kravene til eftergivelighed er blevet præciseret i denne.

I den norske Trafikksikkerhetshåndbok fra 1997 er refereret til 3 undersøgelser (1974, England og 1977/1984, USA), som omhandler virkning mellem ulykker og skadesgrad ved montering af eftergivelige master. På den baggrund er det anslået, at eftergivelige master reducerer sandsynligheden for personskader ved en påkørsel med ca. 50 %.

[2] Svenska Kommunförbundet: *"Farligt näre, Färre och lindrigare olyckor mot stolpar. träd och andre hårda föremål"*, 1997, p. 22.

Desuden refereres til en ældre amerikansk (1977) og en australsk (1997) analyse af effekten af opsætning af eftergivelige master. Samlet viser disse to analyser en nedgang i antal af registrerede ulykker (person- og materiel) på ulykkesbelastede steder på 29 %.

Samlet set viser undersøgelserne, at effekterne (med en del usikkerhed) ligger i intervallet mellem 30 % og 50 % reduktion af antallet af skader.

3.3 Sikkerhedszone

Af hensyn til trafiksikkerheden fastlægges der i umiddelbar tilknytning til køresporet en sikkerhedszone. Sikkerhedszonen er et areal uden påkørselsfarlige faste genstande.

Den nødvendige bredde af sikkerhedszonen er den afstand, som ikke overskrides af størstedelen af de køretøjer, der utilsigtet kommer uden for kørebanen.

Den nødvendige bredde af sikkerhedszonen afhænger først og fremmest af den ønskede hastighed på vejen, men også om strækningen ligger i en horisontalkurve, da biler, der kører af vejen i ydersiden af horisontalkurver, ender længere væk fra vejen end på lige strækninger. Derfor øges kravet til bredden af sikkerhedszonen i ydersiden af horisontalkurver med en radius mindre end 1.000 m.

Ved den ønskede hastighed ($V_ø$) forstås: *Den hastighed, som vejbestyrelsen af hensyn til trafiksikkerhed og miljø ønsker, at førerne af personvogne overholder.*

På veje, hvor den ønskede hastighed er større end 50 km/h, bør der inden for sikkerhedszonen anvendes eftergiveligt vejudstyr.

Sikkerhedszonen for veje er gengivet i Tabel 4.

$V_ø$ (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Horisontalradius (m)	**Krav til sikkerhedszonen b i plant terræn**									
≥ 1000, eller lige vej	**2,0**	**3,0**	**4,0**	**5,0**	**6,0**	**7,0**	**8,0**	**9,0**	**10,0**	**11,0**
900	2,2	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	10,8		
800	2,4	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,6	11,6		
700	2,4	3,6	4,8	6,5	7,8	9,1	10,4	13,0		
600	2,4	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	11,2			
500	2,6	3,9	5,2	7,0	8,4	10,3	12,0			
400	2,8	4,2	5,6	7,0	9,0	11,0				
300	3,0	4,5	6,4	8,0	9,5					
200	3,4	5,1	7,2							
100	4,8	7,5								

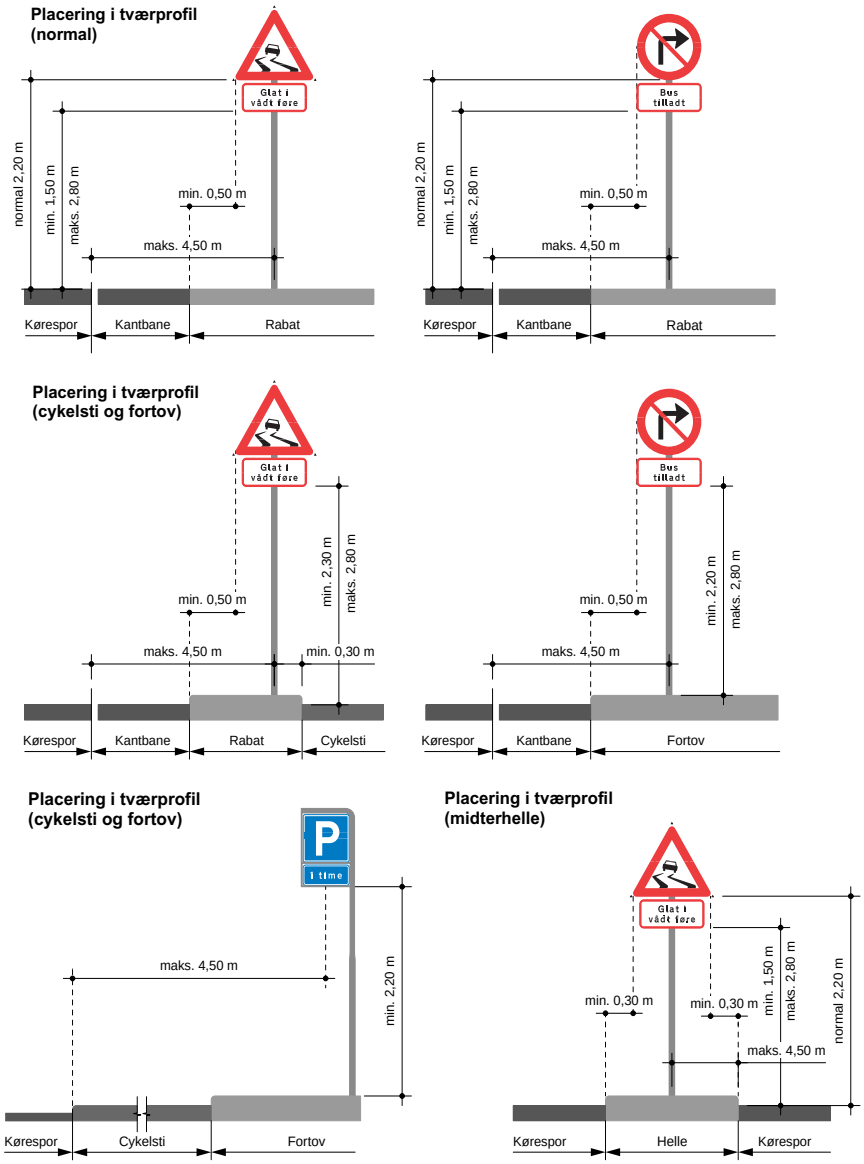
Tabel 4. Krav til bredden af sikkerhedszonen b på lige vej og i ydersiden af horisontalkurver i plant terræn. Tabellen gælder kun i åbent land. I byområder henvises til "Byernes trafikarealer". Kilde: Opsætning af autoværn og påkørselsdæmpere.

På veje, hvor sideområdet hælder, skal yderligere gives et tillæg, se vejregelhæftet ”Opsætning af vejautoværn og påkørselsdæmpere i åbent land”.

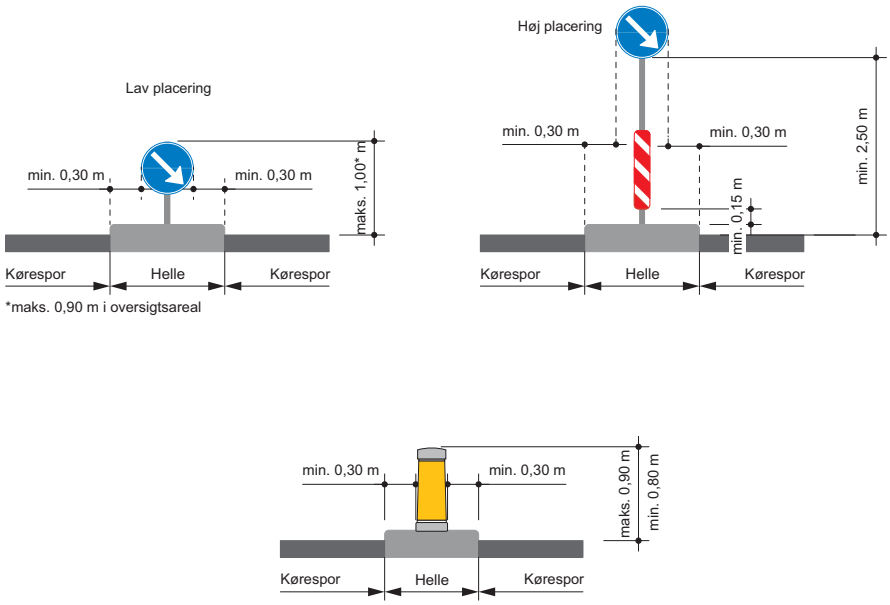
De generelle afstandskrav til placering af færdselstavler er vist i Figur 15 - Figur 19.

Kildemateriale:

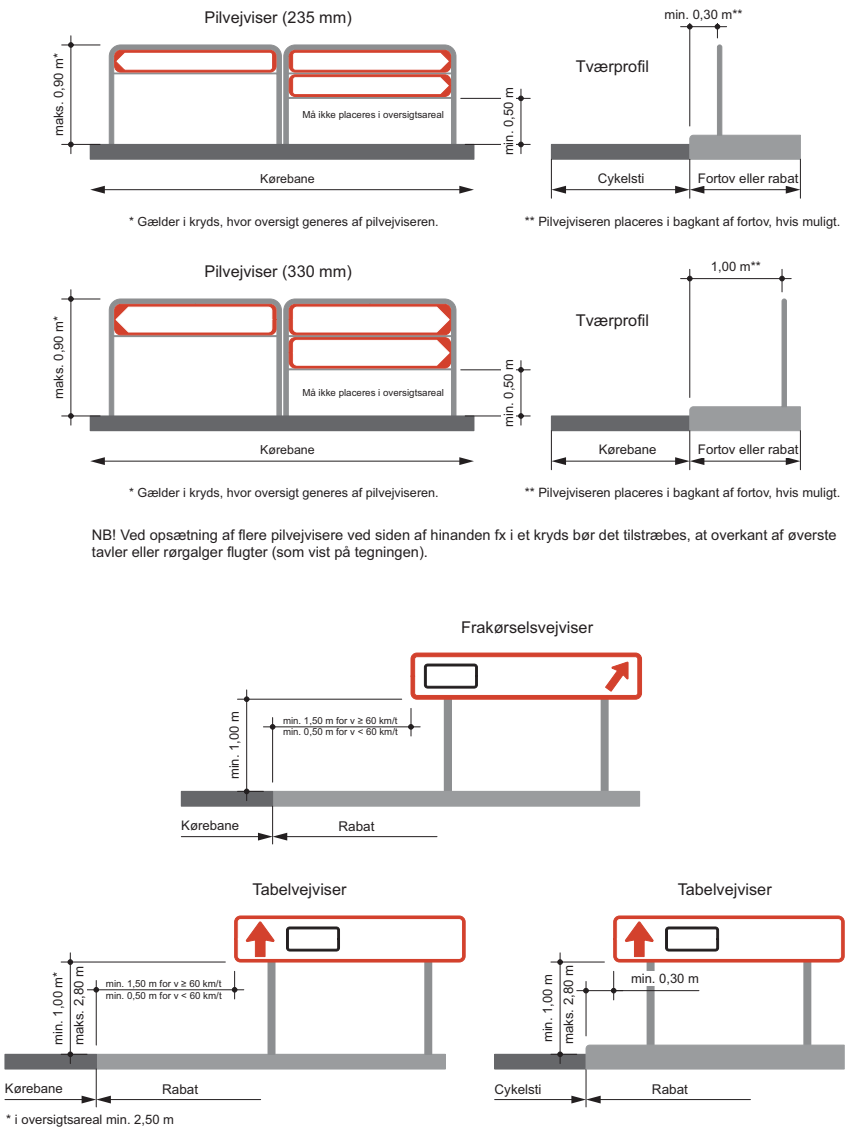
- Figur 15: Færdselsregulering, Færdselstavler, Hæfte 0, Generelt.
- Figur 16: Færdselsregulering, Færdselstavler, Hæfte 4, Påbudstavler.
- Figur 16: Færdselsregulering, Færdselstavler, Hæfte 7, Kant- og baggrundsafmærkning.
- Figur 17: Vejvisning, Hæfte 0, Generelt om vejvisning på almindelige veje.
- Figur 17: Vejvisning, Hæfte 1, Tavletyper for vejvisning på almindelige veje.
- Figur 18:Vejvisning, Hæfte 1, Tavletyper for vejvisning på almindelige veje.
- Figur 19: Vejvisning, Hæfte 4, Vejvisning på cykel- og vandreruter.



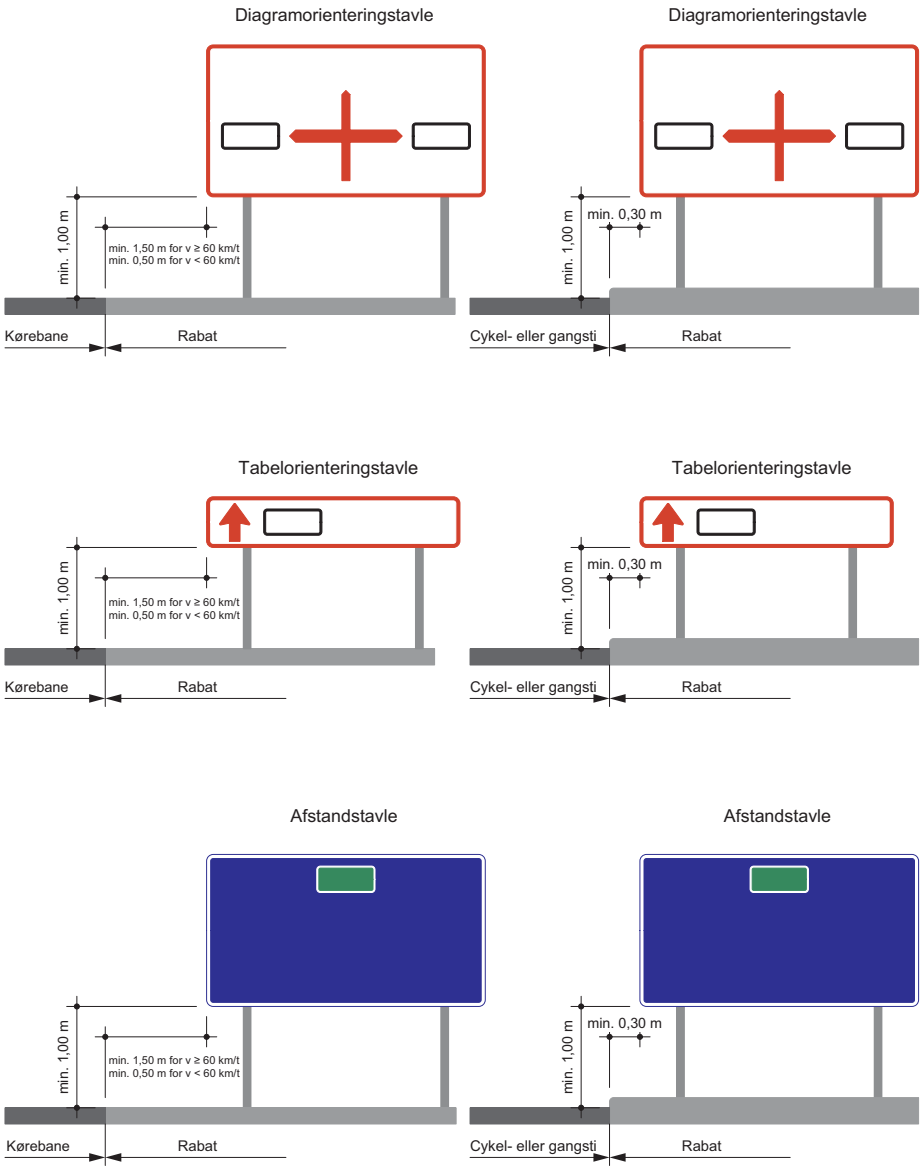
Figur 15. Oversigtstegning over placering af færdselstavler.



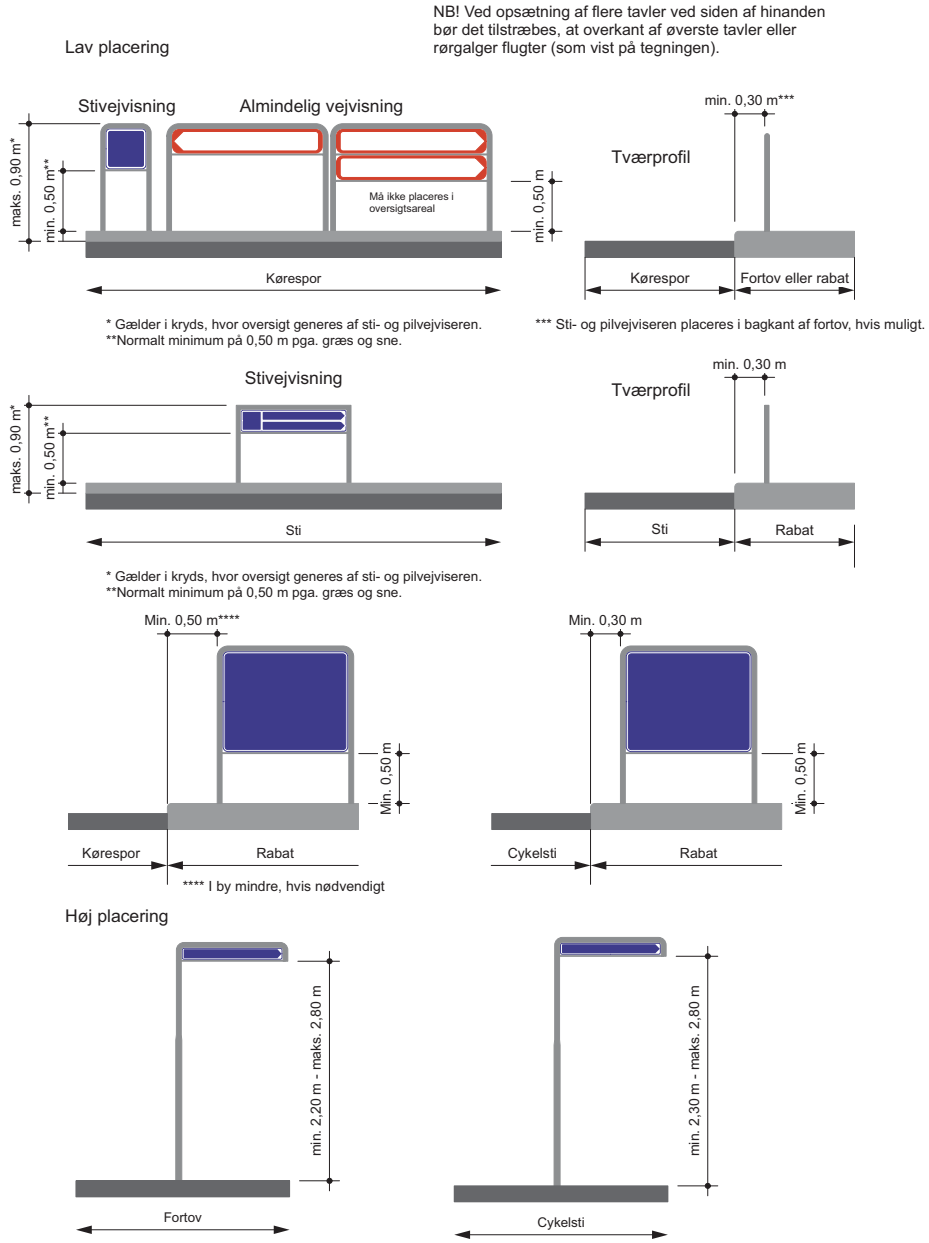
Figur 16. Oversigtstegning over placering af færdselstavler.



Figur 17. Oversigtstegning over placering af vejvisertavler.



Figur 18. Oversigtstegning over placering af orienterings- og afstandstavler.



Figur 19. Oversigtstegning over placering af vejvisningstavler.

Vejudstyr placeret tættere på kørebane og cykelsti end ovenstående afstandskrav skal være udformet således, at det ikke udgør en risiko for personskade ved påkørsel.

For cyklister udgør alt vejudstyr en risiko for personskade ved påkørsel bl.a. pga. risikoen for væltning.

3.4 Master med afskæringsled

Der findes i dag flere forskellige mastetyper forsynet med afskæringsled. Det kan være gittermaster, IPE-master, rørmaster (firkantede, runde eller ottekantede), master af aluminium eller master af stål. Fælles for alle mastetyperne er, at det primært er udformningen af selve afskæringsleddet, der har betydning for virkemåden.

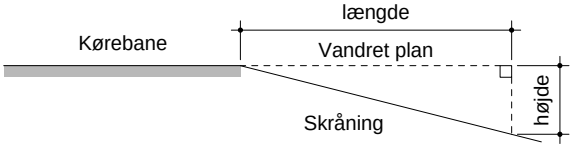
Vægten af mast og afskæringsled samt den kraft, der kræves for at udløse brud- eller afskæringsleddet, har ganske vist også betydning for, hvor stor en opbremsning køretøjet udsættes for ved en evt. påkørsel.

Mastens stivhed indgår også som en parameter, da en høj stivhed giver en større påvirkning af afskæringsleddet og dermed en større sandsynlighed for, at afskæringsleddet vil udløse efter hensigten ved en påkørsel.

De i dag anvendte typer af afskæringsled er baseret på, at to sammenspændte flader glider fra hinanden, hvis den vandrette kraftpåvirkning bliver tilstrækkelig stor. Afskæringsleddet virker normalt kun, hvis kraftpåvirkningen ligger i umiddelbar nærhed af afskæringsleddet, dvs. i intervallet 0,00 - 0,50 m over afskæringsleddets glidezone.

Praktiske erfaringer fra påkørsler af master med afskæringsled (se Figur 24 - Figur 26) viser med al tydelighed, at ovenstående skal tages alvorligt.

Det vil i praksis sige, at hvis eftergivelige master placeres, hvor skråningsanlægget ved påfyldningsskråninger er stejlere end 4:1 (se Figur 20), eller hvor afskæringsleddet umiddelbart er placeret mere end 20 - 30 cm under vejniveau, bør master med afskæringsled ikke anvendes.



Figur 20. Skråningsanlæg defineres som forholdet mellem horisontalprojektion og vertikalprojektion, dvs. forholdet længde:højde. Det viste skråningsanlæg er 4:1.

Alle mastetyper monteret med afskæringsled er indtil videre klassificeret som NE master.

I det følgende er de kendte hovedtyper af afskæringsled beskrevet.

3.4.1 Afskæringsled Type 1

Den klassiske udførelse af et afskæringsled består af to flanger, der begge er forsynet med to V-udskæringer i hver ende af flangerne. Imellem flangerne placeres en tynd rustfri stålplade med to huller til boltene ligeledes i hver ende. I hver V-udskæring anbringes en bolt, der tilspændes med en kraft, der lige netop skal sikre, at forskydningskraften fra vindlasten på konstruktionen kan overføres i samlingen ved friktion.

En typisk udformning af denne type afskæringsled er vist på Figur 21 (her vist med en IPE-mast).

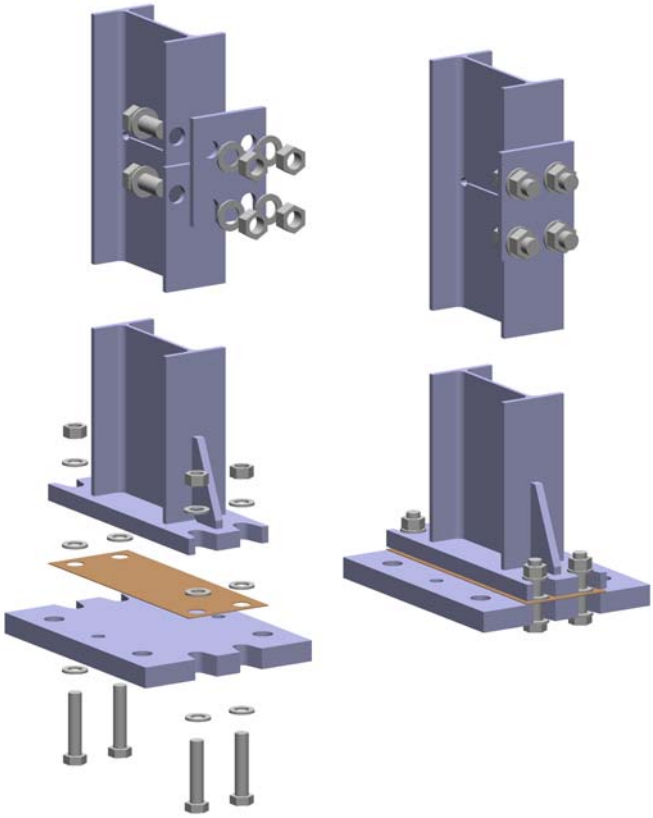
En ulempe ved denne udformning af afskæringsleddet er, at det kun virker ved en begrænset påkørselsvinkel i forhold til kørselsretningen. Bliver påkørselsvinklen for stor (> 20°), således at boltene ikke kan

skydes ud ad V-udskæringerne (typisk ved en sidekollision af masten), vil afskæringsleddet ikke udløses.

Denne type af afskæringsled anvendes ofte, hvor tavlen er placeret symmetrisk på masten, eller hvor der anvendes mindst to master, da afskæringsleddet i nogen grad er følsomt over for vridningspåvirkning.

For større mastedimensioner kan masten også forsynes med et øvre afskæringsled i form af en hængselkonstruktion lige under den nederste tavlekant, således at en personbil ved en påkørsel kan passere under tavlen.

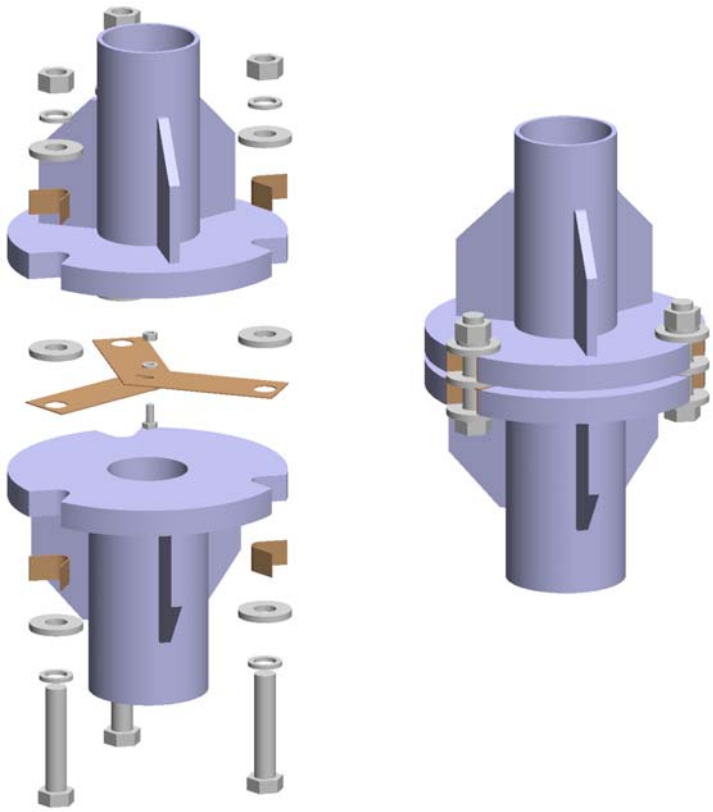
Den på Figur 21 viste konstruktion med både øvre og nedre afskæringsled har været testet hos VTI tilbage i 1978 med et udmærket resultat.



Figur 21. Afskæringsled i traditionel udførelse. Her vist med en mast udført af IPE-profil. Den øverste del af afskæringsleddet udføres kun på de store dimensioner af firkantrør eller IPE-profiler, hvor vægten af masten er stor.

3.4.2 Afskæringsled Type 2

På Figur 22 er vist en anden udformning af et afskæringsled, der ikke er retningsfølsom ved en påkørsel. Afskæringsleddet er til gengæld meget følsomt over for vridningspåvirkning og bør kun anvendes til mindre tavler, hvis der anvendes én mast.



Figur 22. Afskæringsled der ikke er retningsfølsomt ved en påkørsel. Her vist med en mast udført af rørprofil. Udformningen af afskæringsleddet gør det meget følsomt over for vridningspåvirkning.

3.4.3 Afskæringsled Type 3

En anden udformning af et afskæringsled, der ikke er retningsfølsom ved en påkørsel samt har en relativ stor vridningsstivhed, er vist i Figur 23.

Den øverste del af afskæringsleddet er monteret med en stålkerne, hvorpå der er monteret en mast af aluminium. I princippet kunne masten lige så godt have været udført af stål svejst direkte på den øverste flange af afskæringsleddet.

V-udskæringerne i flangerne er forsynet med en forskydningslås i form af en tynd rustfri stålplade. Til forskel fra de to forrige afskæringsled er denne type ikke forsynet med en mellemlægsplade af rustfri stål.

3.4.4 Fordele

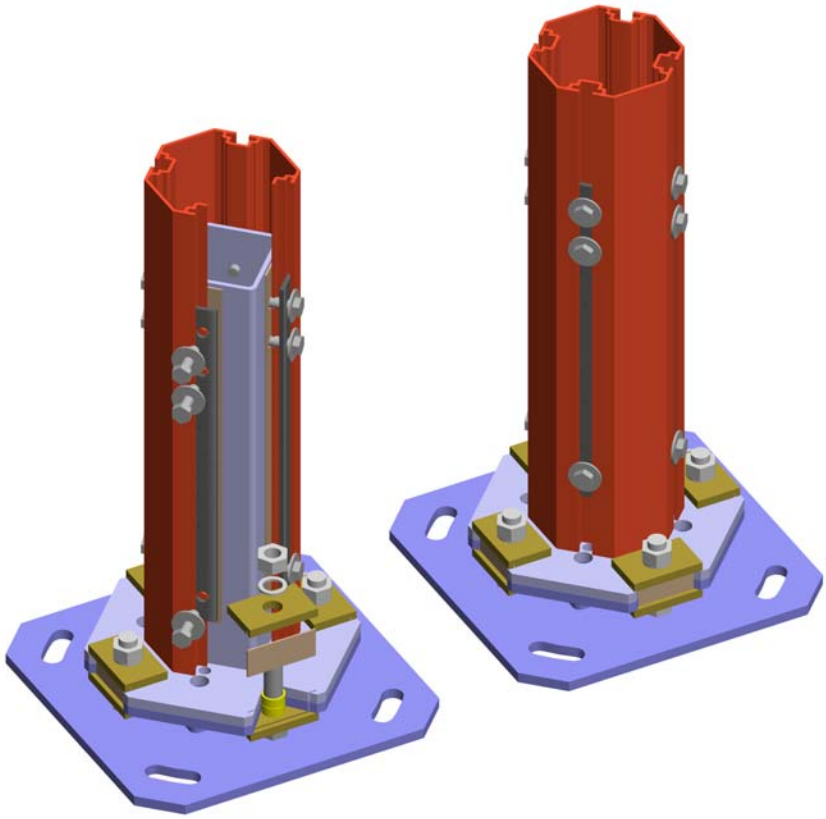
Fordelene ved at anvende master afskæringsled er, at de stort set er ufølsomme over for, hvilken type udstyr der monteres på masten, bare udstyret sidder i tilstrækkelig højde, således at det kastes over køretøjet sammen med masten ved en påkørsel.

3.4.5 Ulemper

Master med afskæringsled er afhængige af at blive truffet i eller nær et specifikt punkt for at kunne fungere som tiltænkt. Ligeledes er nogle af afskæringsled udformet således, at de kun vil udløse, hvis de træffes i

kørselsretningen.

Figur 24 - Figur 26 viser en belysningsmast, der er placeret lige uden for vejens kronekant, hvorved køretøjet har ramt masten så højt oppe, at afskæringsleddet ikke blev udløst.



Figur 23. Afskæringsled der ikke er retningsfølsomt ved en påkørsel. Her vist med en mast udført af rørprofil. Udformningen af afskæringsleddet med en indbygget rotationslås gør, at det ikke er følsomt over for vridningspåvirkning i samme udstrækning som afskæringsled uden rotationslås.

Figur 24. Belysningsmast set fra siden.

Figur 25. Det ses tydeligt, at køretøjet har ramt masten et godt stykke over afskæringsleddet, hvorved det har "låst" sig.

Figur 26. Nærbillede af fundamentet. Momentbelastningen har været så stor, at det passive jordtryk på fundamentets ene side er overskredet, og fundamentet er derved bøjet og skal udskiftes.

Der er også tilfælde, hvor placeringen af afskæringsleddet i sig selv bevirker, at det ikke vil udløses ved en evt. påkørsel. I Figur 27 er vist et sådan eksempel, der skyldes manglende omtanke.

Figur 27. Afskæringsleddet er indkapslet i asfalt og vil derfor ikke fungere.

En anden farlig problemstilling er, at boltene i afskæringsleddet korroderer og derved muligvis kan ”låse” afskæringsleddet. Et sådan eksempel er vist i Figur 28.

Figur 28. Afskæringsleddet med korroderede bolte. Mastefundamentet er knækket under terræn.

Om det er de korroderede bolte, der er hovedårsagen til, at afskæringsleddet ikke har udløst, vides dog ikke med bestemthed. Korroderede bolte vil under alle omstændigheder med tiden udgøre et bæreevneproblem for masten, da zinklagtykkelsen på varmforzinkede bolte er mindre end på selve masten.

I arbejdsbeskrivelserne for vejudstyr er angivet et generelt minimumkrav til zinklagtykkelse på 100 µm for alle stålkonstruktioner. For bolte, møtrikker og skiver er minimumkravet 40 µm.

I de fleste tilfælde går det godt, da korrosionshastigheden er mindre end forudsat, men i nogle tilfælde, hvor masten står udsat, går det alligevel galt, når der anvendes varmforzinkede bolte.

Til belysningsmaster må der i henhold til de nye vejregler ikke anvendes varmforzinkede bolte. Her skal der altid anvendes rustfri bolte.

Overholdelse af monteringsproceduren for master med afskæringsled er vigtig, da boltesamlingen skal forspændes med et bestemt moment for at virke efter hensigten. Det har vist sig, at bolte i afskæringsled ikke altid er forspændt korrekt. Enten er de ikke forspændt nok med det resultat, at konstruktionen kan vælte ved vindpåvirkning, eller også er de forspændt for kraftigt, således at afskæringsleddet ikke virker efter hensigten ved en påkørsel.

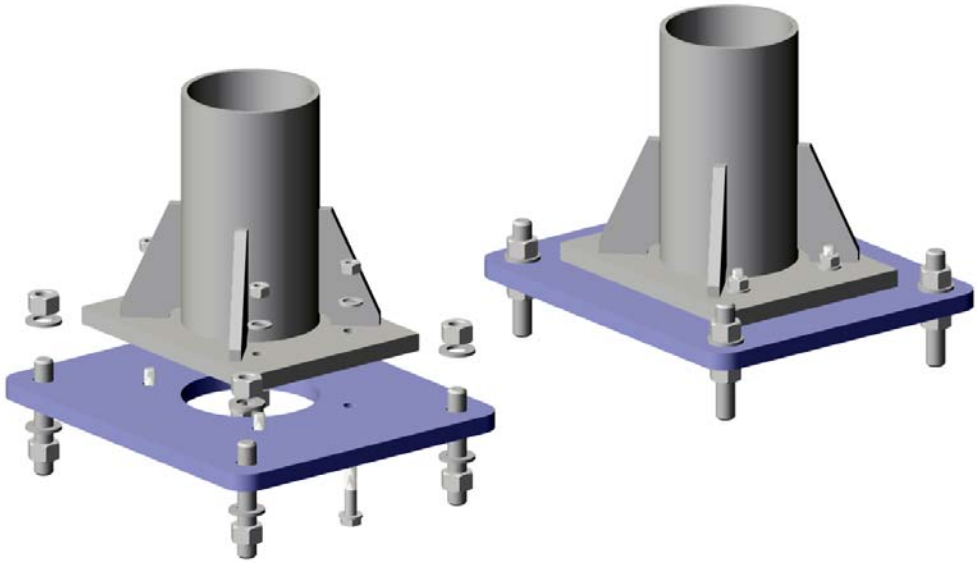
3.5 Master med brudled

For master med brudled er forholdene lidt anderledes end for master

med afskæringsled. Her beror virkemåden på, at et eller flere elementer bryder, f.eks. bolte. Derfor er master med brudled ikke så følsomme med hensyn til træfpunkt for at virke efter hensigten.

3.5.1 Brudled Type 1

Figur 29 viser et brudled, der virker ved, at boltene i samlingen bryder ved en kombination af overklipning og overtrækning afhængigt af, hvor højt oppe brudleddet bliver ramt ved en påkørsel af masten. Masten er oftest fremstillet af et standard stålrør, enten cirkulært eller firkantet.

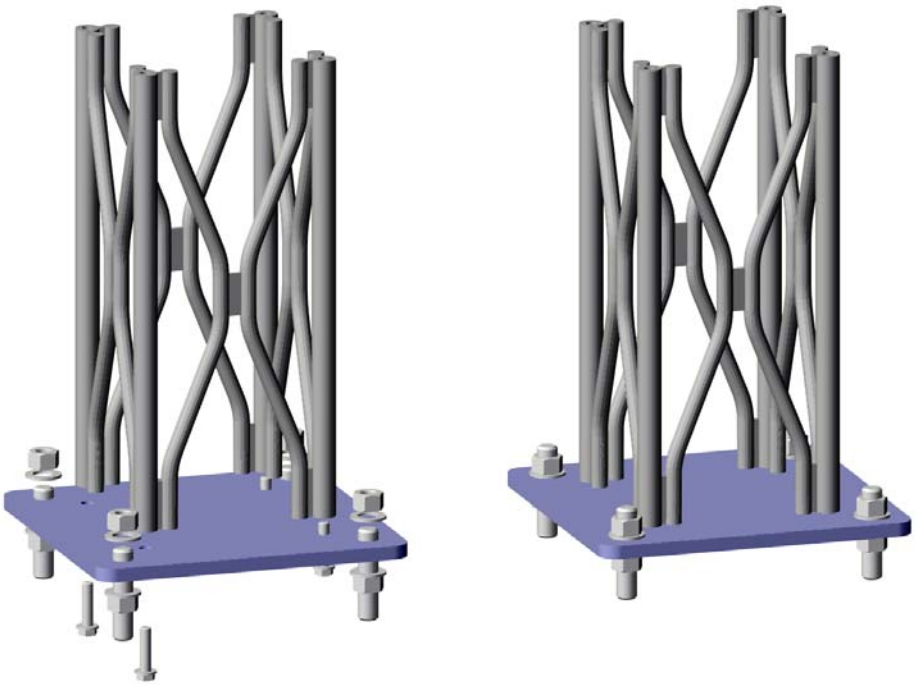


Figur 29. Brudled Type 1. Principskitse af samling med brudbolte. Fodpladen (blå) er fuldstændig fastholdt i fundamentet (ikke vist) ved hjælp af 4 kraftige forankringsbolte.

Normalt forekommer der kun en lettere eller en meget moderat deformation af masten i forbindelse med en påkørsel.

3.5.2 Brudled Type 2

Figur 30 viser et brudled, der enten virker ved, at boltene i samlingen bryder eller ved overtrækning eller udtrækning af boltene i hjørnerørene i gitterprofilen. Denne konstruktionstype udmærker sig ved en meget lav vægt og stor deformation ved påkørsel og dermed en lav påvirkning af køretøjet i påkørselsøjeblikket.



Figur 30. Brudled Type 2. Principskitse af samling med brudbolte. Brudboltene, der bærer gittermasten, skrues direkte op i de hule rør i gitterets hjørner. Fodpladen (blå) er fuldstændig fastholdt i fundamentet (ikke vist) ved hjælp af 4 kraftige forankringsbolte.

3.5.3 Fordele

Fordelene ved at anvende master med brudled er, at de stort set er ufølsomme overfor, hvilken type udstyr der monteres på masten, bare udstyret sidder i tilstrækkelig højde, således at det kastes over køretøjet sammen med masten ved en påkørsel.

3.5.4 Ulemper

Master med brudled er ikke i så stor grad afhængige af at blive truffet i en bestemt højde. Derfor stilles der ikke specielle krav til placering af denne mastetype.

Eftergivelige master med brudled kan dog være følsomme over for udmattelsesbrud i materialet, specielt hvad angår gittermaster fremstillet af aluminium.

Master af aluminium har en forholdsvis stor udbøjning i det elastiske område, som det er nødvendigt at tage hensyn til ved dimensionering og anvendelse.

3.6 Master uden brud- eller afskæringsled

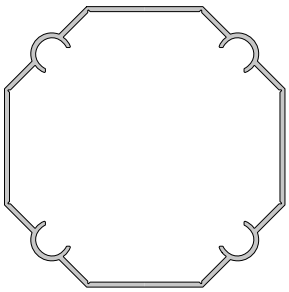
Der findes i dag eftergivelige mastetyper uden brud- eller afskæringsled. De er enten fremstillet af ekstruderet aluminium i form af forskellige typer af rør eller fremstillet af en tynd formbukket og sammensvejst stålplade.

3.6.1 Rørmaster

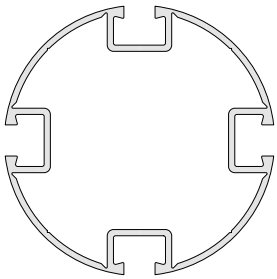
Der findes forskellige typer eftergivelige rørmaster uden brud- og afskæringsled på det danske marked.

Opbygningen af rørmasterne er for aluminiumprofilernes vedkommende karakteriseret ved, at der ofte er indbygget såkaldte revneanvisere i profilvæggen i form af riller i væggen med en tyndere godstykkelse end den øvrige rørvæg.

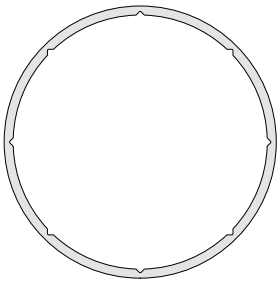
I Figur 31 - Figur 33 er vist forskellige typer tværsnit af rørprofiler fremstillet af ekstruderet aluminium.



Figur 31. Ottekantet mast med revneanvisere.

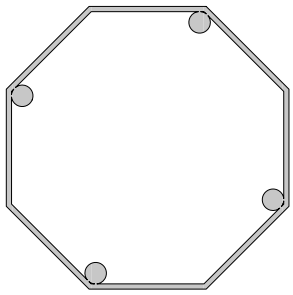


Figur 32. Cirkulær mast med revneanvisere og montagespor.



Figur 33. Cirkulær mast med revneanvisere.

I Figur 34 er en tilsvarende længdesvejst stålprofil vist.



Figur 34. Længdesvejst stålrør med indsvejste rundjern.

Rørmaster er velegnede til at optage vridning så lang tid, at rørvæggen er intakt.

Rørmaster kan for visse typers vedkommende være forstærket med indlimede eller indsvejste stålstænger for at forøge bæreevnen.

3.6.2 Begrænsninger i anvendelse

Placering af ekstra udstyr på eftergivelige master af typen HE og LE kan radikalt ændre masternes virkemåde ved en påkørsel og dermed klassificering. Derfor er det vigtigt at vurdere denne indflydelse ved valg af mastetype. Hvis masterne er testet med monteret ekstraudstyr, vil det oftest fremgå af CE-mærkningen.

3.6.3 Fordele

Fordelen ved at anvende eftergivelige master uden afskæringsled er, at de ikke er afhængige af at blive påkørt inden for en bestemt zone for at virke.

Mastetypen er forholdsvis hurtig at montere, og der skal ikke foretages en kontrol af forspændingskraften af boltene i afskæringsleddet, da et sådant ikke eksisterer.

Masterne kræver stort set ingen vedligeholdelse i hele deres levetid.

3.6.4 Ulemper

Ved anvendelse af eftergivelige master, hvor masten monteres i en bøsning (rør) i fundamentet, kan masten rotere, hvis der kun anvendes én mast. Fastholdelsen i bøsningen skal i disse tilfælde være dimensioneret til at kunne optage vridningspåvirkningen.

Eftergivelige master uden brud- eller afskæringsled kan være følsomme over for udmattelsesbrud i materialet pga. den ofte meget lille godstykkelse kombineret med revneanviserne.

Eftergivelige master af aluminium har en forholdsvis stor udbøjning i det elastiske område, som det er nødvendigt at tage hensyn til ved dimensionering og anvendelse.

3.7 Prioritering og valg

Ud fra en samlet vurdering af økonomi og trafiksikkerhed kan fastlæg-

ges retningslinjer for, hvordan valg og opsætning af eftergivelige master skal prioriteres.

Såfremt der er registeret, hvad der rent faktisk påkøres af vejudstyr, vil dette materiale kunne være en stor hjælp i arbejdet med at prioritere, hvor man skal opsætte eftergivelige master. Alternativt kan en registrering sættes i værk samtidigt med, at de øvrige overvejelser om anvendelse af eftergivelige master gennemgås.

Der kan opstilles følgende rækkefølge for stigende ambitioner og investeringer, idet det, som nævnt i afsnit 3, skal bemærkes, at der altid skal anvendes eftergiveligt vejudstyr i sikkerhedszonen ved nyanlæg af veje i åbent land, hvis der ikke opsættes autoværn.

1. Opsætning af eftergivelige master, hvor ikke-eftergivelige master er blevet påkørt i åbent land
2. Samme som 1, men både i by og land
3. Generel udskiftning til eftergivelige master på uheldsbelastede kryds og strækninger i åbent land. I kryds, hvor master påkøres hyppigt, bør overvejes følgende:
   - Kan krydset ombygges, så påkørsler af master kan undgås?
   - Kan placering af masterne eller enkelte af dem ændres?
   - Kan masterne udskiftes med eftergivelige?
4. Samme som 3, men både for by og land
5. Anvendelse af eftergivelige master ved renovering af signalanlæg i åbent land
6. Anvendelse af eftergivelige master ved renovering af belysning
7. Anvendelse af eftergivelige master ved alle renoveringer
8. Udskiftning af master inden for sikkerhedszonen i åbent land
9. Udskiftning til eftergivelige master i alle kryds og på alle strækninger i åbent land samt i byområder, hvor hastigheden er 50 km/h eller derover.

Uanset hvordan de overordnede principper er lagt fast, bør der i den enkelte udskiftnings-, ombygnings- eller nybygningssituation af trafiksikkerhedsmæssige grunde overvejes følgende trin for opsætning af master:

- Er masten nødvendig? (kan den undværes eller evt. erstattes af udstyr opsat på anden mast)
- Bør masten være eftergivelig?
- En eftergivelig mast skal afpasses til, hvad der er i nærheden, herunder hvad man efterfølgende kan risikere at køre ind i
- Hvis masten ikke er eftergivelig, befinder sig i åbent land og inden for sikkerhedszonen bør/skal opsættes autoværn afhængigt af opsætningssituationen (udskiftning/nybygning).

Hvis masten ikke er eftergivelig, befinder sig i sikkerhedszonen, og der ikke opsættes autoværn, bør hastigheden på stedet begrænses.

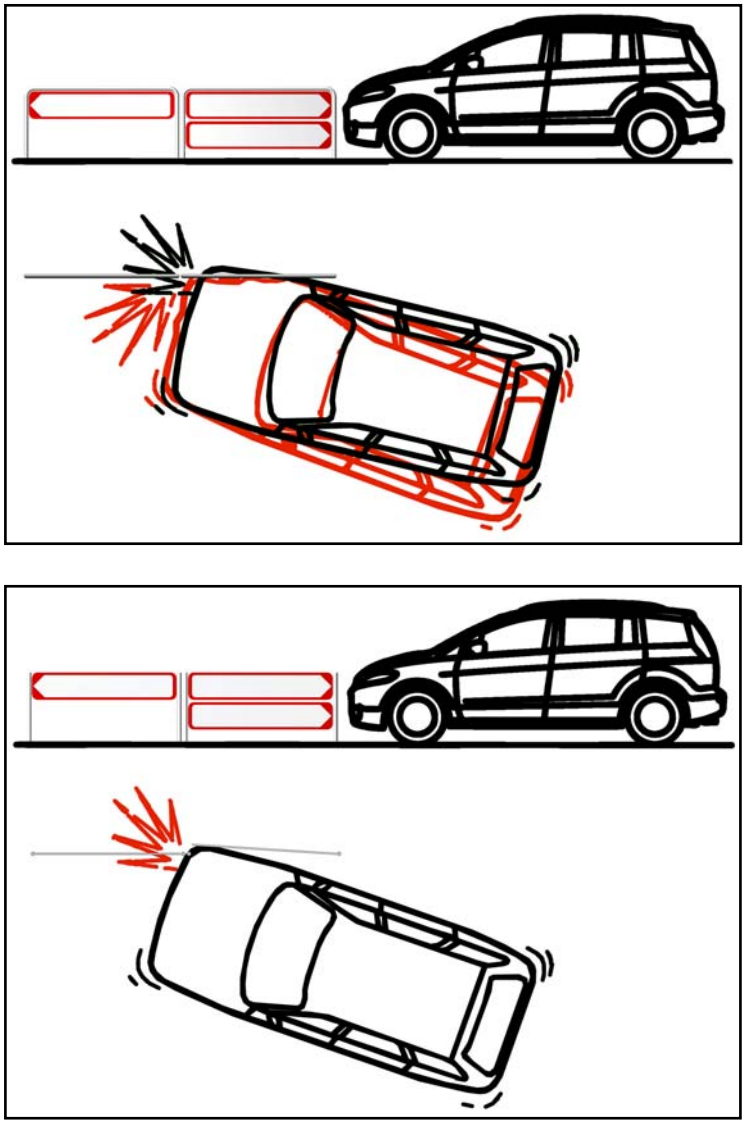
4 EKSEMPLER

Generelt er der ikke behov for at anvende eftergivelige master på veje med lille trafikmængde og med tilladt hastighed på 50 km/h eller derunder, fordi langt de fleste køretøjer i dag er indrettet således, at der er ringe sandsynlighed for, at en påkørsel af en fast genstand vil medføre alvorlige skader på fører eller passager, hvis der anvendes sikkerhedsseler.

På veje med større trafikmængde og tilladt hastighed på 50 - 60 km/h og derover bør der anvendes eftergivelige master til opsætning af vejtavler, vejbelysning og signalanlæg i by og i åbent land. Ved nyanlæg i åbent land skal der, som tidligere nævnt i afsnit 3, anvendes eftergiveligt vejudstyr inden for vejens sikkerhedszone, hvis ikke det er afskærmet af autoværn.

4.1 Afmærkning

Traditionelt er pilvejvisere og lignende opsat i lave galgestandere. Rørgalgerne kan imidlertid give sikkerhedsmæssige problemer i situationer, hvor rørgalgerne påkøres skråt i forhold til vejviserens længderetning. Her kan rørgalgen komme til at fungere som en ”løkke”, der giver en meget kraftig opbremsning eller vridning af det påkørende køretøj. Eventuelle afskæringsled kan blive trækbelastede og vil derfor heller ikke fungere efter hensigten – se illustrationen i Figur 35.



Figur 35. Øverst: Illustration af påkørsel af lave rørgalger, hvor der sker en brat opbremsning og vridning af bilen. Nederst: Illustration af samme situation med opsætning på enkeltstandere, der giver en mere kontrolleret eller næsten ingen nedbremsning.

I vejkryds bør man derfor opsætte pilvejviserne på enkeltstående standere på de steder, hvor der er risiko for skrå påkørsler.

Da bæreevnen er forskellig for de enkelte typer af eftergivelige master, vælges master ofte ud fra en optimering af bæreevne, pris og ønsket virkemåde. I det følgende er vist 3 eksempler fra Holbæk - Vig motorvejen. Billederne er fra før indvielsen. Terrænreguleringen omkring fundamenterne er derfor endnu ikke helt på plads.

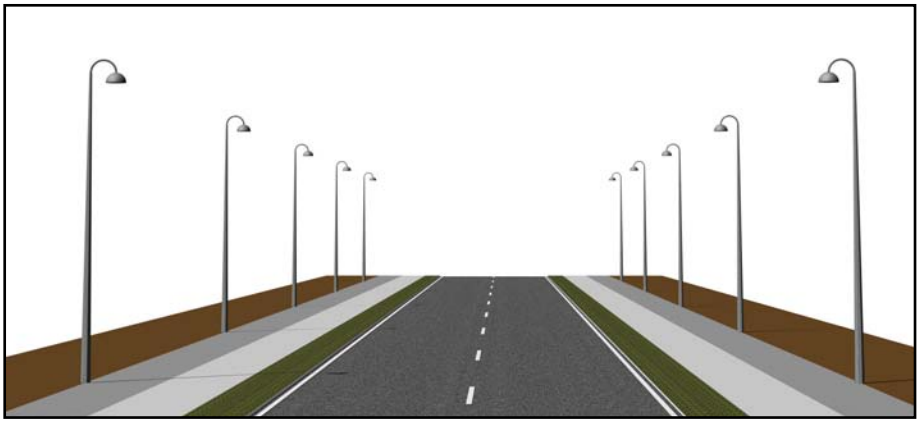
Figur 36. Til de store tavler er der her anvendt eftergivelige master med brudled.

Figur 37. Til den mellemstore tavlestørrelse er valgt eftergivelige master med afskæringsled.

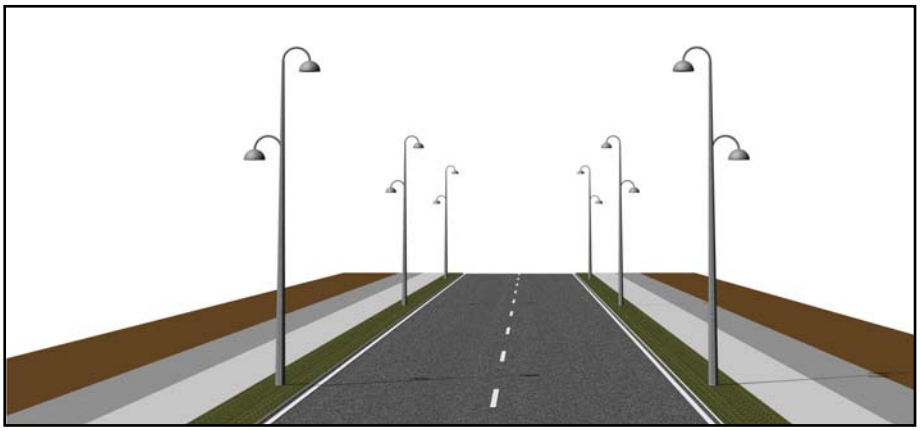
Figur 38. Til den mindre tavlestørrelse er valgt eftergivelige master uden brud- eller afskæringsled.

4.2 Belysningsanlæg

På større veje i byer eller af bymæssig omfartsvejskarakter i åbent land kan der – afhængigt af masternes placering i vejprofilet – anvendes forskellige typer af belysningsanlæg, som det er vist på Figur 39.



Symmetrisk vejprofil med fortov, cykelsti, skillerabat og kørespor. Belysningsmasterne er placeret i fortovets bagkant. Afstand fra kørebanekant til belysningsmast er 4,00 m. Ved tilladt hastighed på 60 km/h er sikkerhedszonen 4 m til faste genstande, dvs. at der her kan anvendes almindelige belysningsmaster.



Samme vejprofil som før, men belysningsmasterne er nu placeret i skillerabatten. Afstanden fra kørebanekant til belysningsmasterne er 0,50 m. Belysningsmasterne står inden for sikkerhedszonen og skal derfor være eftergivelige, dvs. opfylde kravene i DS/EN 12767. I dette tilfælde bør vælges en mastetype, der som minimum opfylder kravene til 70,HE,2 jf. afsnit 1.2.

Figur 39. Eksempel på to forskellige opsætninger af belysningsmaster på det samme tværprofil.

Figur 40 og Figur 41 viser, hvordan belysningsmaster ofte anvendes til montage af andet vejudstyr. I sådanne tilfælde skal det nøje vurderes, om dette giver anledning til, at belysningsmasten opfører sig anderledes ved en påkørsel.

Figur 40. Montering af ekstra udstyr på belysningsmaster i form af en pilvejviser.

Figur 41. I dette tilfælde er der monteret lanterner på belysningsmasten.

4.3 Signalanlæg

Ved signalanlæg er det hensigtsmæssigt at anvende eftergivelige master

de steder, hvor der erfaringsmæssigt sker flest påkørsler. Det er typisk i helleanlæg.

Figur 42. Eftergivelig signalmast placeret i helle.

Figur 43. Påkørt eftergivelig signalmast i helleanlæg. Skadevolder ukendt.

5 ØKONOMI

Ved vurdering af den økonomiske konsekvens ved anvendelse af eftergivelige master skal følgende tages i regning:

- indkøb
- drift og vedligehold
- samfundsøkonomi.

5.1 Indkøb

Eftergivelige master er ca. 50 - 100 % dyrere at indkøbe end ikke-eftergivelige master (prisniveau 2006), men det er sandsynligt, at prisforskellen mindskes i de kommende år på grund af, at der vil blive flere udbydere og dermed større konkurrence på området.

Forholdet mellem priserne på eftergivelige master i forhold til ikke-eftergivelige er angivet i Figur 44 (prisniveau 2006 ekskl. moms).

De viste eksempler giver et indtryk af nogle typiske størrelsesordener for prisforskellene mellem de enkelte mastetyper.

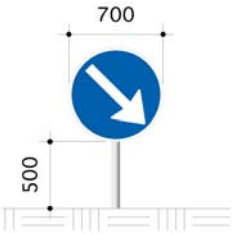
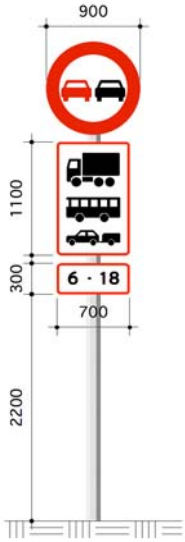
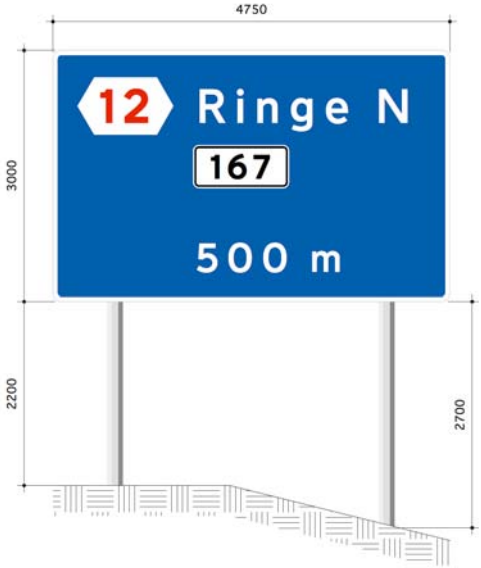
5.2 Drifts- og vedligehold

Set ud fra et driftsøkonomisk synspunkt kan anvendelsen af eftergivelige master være en økonomisk gevinst, da påkørt vejudstyr monteret på eftergivelige master er hurtigt at udskifte, fordi fundamenter næsten altid kan genanvendes.

Trafikanterne bliver herved kun generet i begrænset omfang, og prisen for udskiftningen er ofte lavere, da der som hovedregel ikke skal etableres nye fundamenter, fordi de gamle umiddelbart kan genanvendes.

Der foreligger p.t. dog ikke analyser af drifts- og vedligeholdsomkostninger for eftergivelige master sammenlignet med traditionelle master.

I Tabel 5 og Tabel 6 er der givet nogle betragtninger, der kan anvendes ved en evt. prissætning af drifts- og vedligeholdsomkostningerne ved anvendelse af eftergivelige master. Betragtningerne er opdelt i mulige ekstraomkostninger og mulige besparelser.

Lav stander ekskl. fundament  	Priser er ekskl. moms	Fast	Eftergivelig	
		Stål	Stål	Aluminium
	Ca. pris i kr.	300,-		
	Forholdstal	1,0	1,3 - 1,5	1,3 - 1,5
			Stål: med afskæringsled Aluminium: uden afskæringsled Fordel: Stander kan ved en påkørsel som hoved-regel udskiftes uden, at der skal graves.	
Høj stander ekskl. fundament  	Priser er ekskl. moms	Fast	Eftergivelig	
		Stål	Stål	Aluminium
	Ca. pris i kr.	2.000,-		
	Forholdstal	1,0	1,3 - 1,5	1,3 - 1,5
		Bør kun anvendes ved en tilladt hastighed på mindre end eller lig med 50 km/h eller bag autoværn.	Stål: med afskæringsled Aluminium: uden afskæringsled Fordel: Stander kan ved en påkørsel som hoved-regel udskiftes uden, at der skal graves.	
Master til større tavler  	Priser er ekskl. moms	Fast	Eftergivelig	
		Stål	Stål	Aluminium
	Ca. pris i kr.	5000,-		
	Forholdstal	1,0	1,5 - 1,7	1,7 - 1,9
		Bør kun anvendes ved en tilladt hastighed på mindre end eller lig med 50 km/h eller bag autoværn.	Stål: med afskæringsled Aluminium: uden afskæringsled Fordel: Stander kan ved en påkørsel som hoved-regel udskiftes uden, at der skal graves.	

Figur 44. Forholdet mellem priserne på eftergivelige master i forhold til faste stålmaster for nogle forskellige mastetyper – prisniveau 2006 ekskl. moms og ekskl. fundament og montage.

Signalmast 2,20 m frihøjde fra terræn til underkant af signal 	Priser er ekskl. moms	Fast	Eftergivelig	
		Stål	Stål	Aluminium
	Ca. pris i kr.	2.700,-		
	Forholdstal	1	1,5 - 2,0	1,3 - 2,1
		Bør kun anvendes ved en tilladt hastighed på mindre end eller lig med 50 km/h.	Stål: uden afskæringsled Aluminium: uden afskæringsled Fordel: Mast kan som hovedregel udskiftes uden, at der skal graves.	
Belysningsmast 8 m 	Priser er ekskl. moms	Fast	Eftergivelig	
		Stål	Stål	Aluminium
	Ca. pris i kr.	3.800,-		
	Forholdstal	1	1,7 - 2,1	1,7 - 2,1
		Bør kun anvendes ved en tilladt hastighed på mindre end eller lig med 50 km/h	Stål: uden afskæringsled Aluminium: uden afskæringsled Fordel: Mast kan som hovedregel udskiftes uden, at der skal graves.	

Figur 44. (fortsat). Forholdet mellem priserne på eftergivelige master i forhold til faste stålmaster for nogle forskellige mastetyper – prisniveau 2006 ekskl. moms og ekskl. fundament og montage.

Type:	Forklaring
Lageromkostninger	Anvendelse af eftergivelige master kan betyde, at det måske er nødvendigt at lagerføre flere forskellige mastetyper til brug ved eventuelle udskiftninger pga. længere leveringstid.
Merpris på udstyr	Anskaffelsespriser på eftergivelige master er p.t. højere end traditionelle master lidt afhængig af mastetype.
Flere skader	Da eftergivelige master er mere følsomme over for deformationer ved påkørsler og ikke kan rettes op igen, vil dette betyde, at eftergivelige master oftere skal udskiftes i forhold til de traditionelle master.
Skadevoldere "forsvinder"	Eftergivelige master medfører næsten altid betydelig mindre skader på de køretøjer, der påkører masterne, således at de kan fortsætte ved egen kraft. Skadevolderne kan derfor være svære at identificere og derved få erstattet udgifterne til udskiftning.

Tabel 5. Ekstraomkostninger ved anvendelse af eftergivelige master.

Type:	Forklaring
Fundamenter	Fundamenter til eftergivelige master skal altid udføres, således at de kan genanvendes ved en evt. påkørsel af de eftergivelige master, uden at der skal foretages en udskiftning/reparation af fundamentet. Ved anvendelse af master med afskæringsled kan både master og afskæringsled i heldige tilfælde genmonteres efter en påkørsel.
Montagetid	Da fundamentet, som før nævnt, næsten altid er intakt efter en påkørsel af masten, kan en ny mast monteres på ganske kort tid i forhold til anvendelse af traditionelle master. Det kræver mindre afspærring og kortere arbejdsperiode.

Tabel 6. Besparelser ved anvendelse af eftergivelige master.

5.3 Samfundsøkonomi

De vigtigste afledte økonomiske effekter af anvendelse af eftergivelige master knytter sig til formindskelse af antallet af alvorlige uheld og begrænsningen af person- og materielskade.

I samfundsøkonomiske beregninger benyttes enhedspriser på 2,611 mio. kr. for et trafikuheld med personskade og 2,009 mio. kr. for en personskade alene. Prisniveauet er 2003. For et gennemsnitligt trafikuheld udgør materielskadeomkostningerne i gennemsnit 0,476 mio. kr. De personrelaterede omkostninger er i samme kilde og efter samme metode opgjort til 10,406 mio. kr. for en dræbt og 1,085 mio. kr. for en alvorligt tilskadekommen person (Priserne er fra: Trafikministeriet: *"Nøgletalskatalog til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet"*, december 2004, tabel 28).

De nævnte beløb er, som nævnt, den samfundsøkonomiske besparelse, hvis uheldene helt undgås, og kan ikke umiddelbart henføres direkte til

budgetter og slet ikke til vejbudgetterne. Til gengæld skal eftergivelige master ikke spare et særligt stort antal uheld, førend de tjener sig hjem mange gange. Således kan én eftergivelig mast til en merpris på mellem 600 og 4.500 kr. afhængigt af type (se Figur 44) i bedste fald forebygge et dødsfald og velfærdstab svarende til godt 10 mio. kr.

I Tabel 7 er foretaget en sammenstilling af de samfundsøkonomiske omkostninger pr. enhed af de forskellige skadetyper med det gennemsnitlige antal tilfælde i årene fra 1998 - 2004 for de uheld, hvor der er registreret en påkørsel af master m.v. (Det skal bemærkes, at der er tale om udtræk af uheld fra VIS, hvor søgekriteriet har været, at ”element nr. 95” har været impliceret. Da ”element nr. 95” også omfatter andet vejudstyr end master – f.eks. hellefyr, rækværk eller lignende – er der tale om flere uheld end blot med master alene. Se derfor også Tabel 8).

Uden materielomkostninger svarer det pr. år til en total omkostning på 287 mio. kr. for dræbte, 230 mio. kr. for alvorligt tilskadekomne og 88 mio. kr. for de let tilskadekomne. I alt en omkostning på ca. 606 mio. kr. pr. år som følge af personskader.

Materielskadeomkostningerne er på knap 462 mio. kr. opregnet ud fra en gennemsnitspris på 858 tusind kr. pr. personskade fra nøgletalskataloget. Totalt er der således groft beregnet tale om omkostninger på ca. 1.070 mio. kr. pr. år for alle de uheld med personskade, hvor der også er påkørt master mv.

	Dræbte	Alvorligt tilskadekomne	Let tilskadekomne	Personskade i alt	Kilde/bemærkning
Gennemsnit fra 1998 – 2004 (antal personer)	27,6	212,1	299,3	539,0	Udtræk fra VIS
Samfundsomkostning pr. person (1.000 kr.)	10.406	1.085	295		Nøgletalskatalog fra Trafikministeriet (2004)
Omkostninger i alt (mio. kr.)	**287,2**	**230,1**	**88,3**	**605,6**	

Tabel 7. Samfundsmæssige omkostninger relation til det gennemsnitlige antal skader i årene 1998 - 2004 i uheld, hvor der er registreret påkørsel af master.

Som det fremgår af afsnit 3.2, indikerer en svensk undersøgelse, at anvendelse af eftergivelige master kan reducere antallet af skader med ca. ⅓ i forhold til antallet af skader, der forårsages af ikke-eftergivelige master.

Der foreligger dog andre undersøgelser, der indikerer både højere og lavere reduktioner.

5.3.1 Mulig besparelse af uheldsomkostninger

På baggrund af de ovenstående betragtninger kan opstilles et simpelt skøn over det samlede besparelsespotentiale ved at anvende eftergivelige master frem for ikke-eftergivelige. Resultatet er vist i Tabel 8.

	Skønnet værdi	
	Max.	Min.
Samlede uheldsomkostninger med personskade i uheld registreret med påkørsel af master m.v. – mio. kr. pr. år	606	606
Reduktion fordi masterne kun indgår i en del af uheldene i beregningen i tabel 7 [a)]	80 %	50 %
Reduktion fordi masterne ikke er skyld i skaderne i alle uheld, hvor der er impliceret master [b)]	75 %	50 %
Reduktion af skader ved at anvende eftergivelige master i stedet for ikke-eftergivelige [c)]	50 %	30 %
Skønnet samlet besparelsespotentiale – mio. kr. pr. år	182	45

a) En vurdering af uheld i perioden fra 2002 – 2004 i Frederiksborg Amt ud fra video og uheldsrapporterne i VIS har vist, at der kun var påkørt master i uheld, hvor der var registreret mellem ca. 50 % og 80 % af de registrerede personskader. Årsagen er, at den anvendte uheldskategori med "element nr. 95" også omfatter andet vejudstyr som hellefyr, rækværk eller lign. De to forskellige procentandele er fremkommet ved to forskellige opgørelsesmetoder.
b) Selv om der er påkørt en mast, er det ikke sikkert, at det er masten, der forårsager personskaderne. Eksempelvis ved sammenstød mellem to biler, hvor den ene bil efterfølgende med lav hastighed vælter en eftergivelig mast. Intervallerne her er skønnet uden erfaringsgrundlag overhovedet, men en reduktion for det nævnte forhold er nødvendig – derfor er der skønnet de to viste værdier.
c) Intervallerne er fra den øvre og nedre ende af de udenlandske undersøgelser, der er nævnt i afsnit 3.2.

Tabel 8. Skøn over størrelsesorden for besparelsespotentiale ved anvendelse af eftergivelige master frem for ikke-eftergivelige.

Regneeksemplet indikerer altså en mulighed for at formindske uheldsomkostninger med mellem 45 og 182 mio. kr. pr. år, men beregningen er forbundet med stor usikkerhed, da den er baseret på gennemsnitstal for både uheld og effekt af eftergivelige master.

5.3.2 Hvad skal der investeres

Besparelsen i uheldsomkostninger bør naturligvis sættes i forhold til den nødvendige investering – dvs. et overslag over, hvor mange eftergivelige master der ville skulle sættes op langs det vejnet, hvor uheldene sker, og hvad disse master ville koste, enten som nye eller som en meromkostning, når eksisterende master alligevel skal udskiftes.

Ideelt set kræver sådant et regnestykke oplysning om, hvor mange ikke-eftergivelige master, der findes langs vejnettet i Danmark fordelt på typer, så en omkostning for total udskiftning til eftergivelige master ville kunne beregnes.

Det er ikke muligt at finde datagrundlag, som kan benyttes til en vurdering af, hvor mange master der findes langs vejnettet i Danmark – endsige blot repræsentative dele af det, som kunne opregnes forholdsmæssigt. Og der foreligger heller ikke oplysninger, der vil kunne anvendes til at anslå andelen af ikke-eftergivelige master.

Som alternativ er derfor foretaget en simpel beregning af, hvor mange master, man ville kunne købe eller udskifte for de sparede uheldsomkostninger. Dette tal kan sættes i forhold til længden af vejnettet, og således udgøre det antal master, man ville kunne opsætte eller udskifte pr. km vej for at spare de nævnte uheldsomkostninger. Regnestykket er udført for en periode på 20 år, som antages at være en gennemsnitlig leve-

tid for en eftergivelig mast og i øvrigt med følgende forskellige kombinationer af alternativer:

Fælles i beregningerne:
- Besparelse på uheldsomkostninger på enten 45 eller 182 mio. kr./år. Priserne er hverken fremskrevet eller tilbagediskonteret for den 20 års periode, der indgår i regnestykket
- Der er medtaget længden af alle veje i Danmark, da uheldsomkostningsberegningen har været på landsplan.

Kombinationer i beregningerne:
- Beregning sker ud fra mastens fulde pris
- Kun meromkostning ved eftergivelig master medtages – svarende til at eftergivelige master kun opsættes, når master alligevel skal udskiftes
- Kun de dyreste master opsættes
- Kun de billigste master opsættes
- Der opsættes/udskiftes 50 % af de billigste og de dyreste master

Resultaterne af disse forenklede beregninger er vist i Tabel 9. Tallene i tabellen svarer til det antal master, man teoretisk ville kunne opsætte pr. km vej i Danmark afhængigt af, hvor stor uheldsbesparelse der regnes med, og hvilken omkostning der er beregnet for at sætte masterne op. Tallene svinger fra knap 2 master til 50 master pr. km afhængigt af forudsætningerne.

I beregningen med en fifty-fifty fordeling mellem de dyre og billige master vil den "dårligste" økonomi være for de dyreste master og den mindste sparede uheldsomkostning. Med de forudsætninger er resultatet 2,3 master pr. km svarende til en mast for hver 434 m på vejnettet. Tilsvarende er resultatet for den "bedste" økonomi i fifty-fifty beregningen 19,3 master pr. km svarende til en afstand på knap 52 m mellem masterne.

Som nævnt er beregningen baseret på længden af det samlede vejnet. Der kan argumenteres for, at der burde tages højde for, at der kun i mindre omfang må være alvorlige uheld med master på veje, hvor der kun må køres 50 km/h. Imidlertid findes der ikke opgørelser over, hvor stor en andel af vejnettet, der har en tilladt hastighed på 50 km/h, og f.eks. heller ikke af, hvor stor en andel af vejnettet, der ligger i byzone. Hvis forholdet kunne have været inddraget i beregningerne, ville det givetvis have betydet en bedre samfundsøkonomi for de eftergivelige master end de forudgående beregninger viser.

Selvom regnestykket er meget usikkert, giver det dog en kraftig indikation af, at eftergivelige master alt andet lige altid vil være en god investering, hvor der "blot" betales meromkostninger enten ved udskiftning eller ved opsætning i helt nye anlæg.

	Beregnet ud fra masternes fulde pris		Kun meromkostningerne ved masterne er medtaget i beregningen	
Uheldsbesparelse (mio. kr. år) Medtaget som min. og max.	45	182	45	182
Teoretisk gennemsnitlig besparelse pr. km/vej over en samlet periode på 20 år (kr./km)	12.414	50.207	12.414	50.207
Mastepriser (kr.)				
Dyreste mast	8.000	8.000	4.200	4.200
Billigste mast	3.000	3.000	1.000	1.000
Fordeling 50 % / 50 %	5.500	5.500	2.600	2.600
Antal master der teoretisk vil kunne opsættes pr. km for besparelsen med den givne pris eller meromkostning				
Dyreste mast	1,6	6,3	3,0	12,0
Billigste mast	4,1	16,7	12,4	50,2
Fordeling 50 % / 50 %	2,3	9,1	4,8	19,3

Beregningsforudsætninger

Levetid (år)	20
Længde af hele vejnettet (km)	72.500

Tabel 9. Beregning af, hvor mange master, man ville kunne købe eller udskifte for de sparede uheldsomkostninger. Priser for master stammer fra Figur 44.

Titel: Håndbog i anvendelse af eftergivelige master

Dato: Marts 2008

Redaktion: Vejdirektoratet, Vejregelrådet

Foto:

Tegninger:

Copyright: Vejdirektoratet

Udgiver: Vejdirektoratet

ISSN: 1600-006X

ISBN: 978-87-7060-081-1