HÅNDBOG

DIMENSIONERING – BEFÆSTELSER OG FORSTÆRKNINGSBELÆGNINGER

KONSTRUKTIONER

JANUAR 2022

VEJREGLER

FORORD

Denne håndbog om dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger, giver anvisning i dimensionering af fleksible, halvstive og stive befæstelser på veje og pladser. Håndbogen indeholder retningslinjer for fastlæggelse af grundlaget for dimensionering af befæstelser i form af dimensionsgivende trafikbelastning, underbund og materialer. Herudover giver håndbogen en kortfattet beskrivelse om mulighederne ved anvendelse af dimensionerings-systemet MMOPP.

Håndbogen er udarbejdet af en ad hoc-gruppe under vejregelgruppe Dimensionering, der i perioden havde følgende sammensætning:

Vejdirektoratet ved Susanne Baltzer, formand
Vejdirektoratet ved Claus Krøldrup Pedersen
Sweco ved Christian Busch
Københavns Kommune ved Michael Rasmussen
Colas Danmark A/S ved Claus Thorup
Teknologisk Institut ved Jesper Laugesen
COWI ved Mogens Løvendorf Holst, frem til oktober 2021
COWI ved Gregers Hildebrand, fra oktober 2021
Niras ved Mogens Løvendorf Holst, fra januar 2022
Rambøll ved Sidsel Petri Tønnesen
Vejdirektoratet ved Henrik Majlund, projektleder

Ad hoc-gruppen har haft følgende sammensætning:

Vejdirektoratet ved Susanne Baltzer
Vejdirektoratet ved Claus Krøldrup Pedersen
Sweco ved Christian Busch
Københavns Kommune ved Michael Rasmussen
Colas Danmark A/S ved Claus Thorup
Teknologisk Institut ved Jesper Laugesen
COWI ved Mogens Løvendorf Holst, frem til oktober 2021
COWI ved Gregers Hildebrand, fra oktober 2021
Niras ved Mogens Løvendorf Holst, fra januar 2022
Rambøll ved Sidsel Petri Tønnesen, konsulent
Vejdirektoratet ved Henrik Majlund, projektleder

Denne håndbog om dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger erstatter håndbog om dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger af september 2017. Væsentlige ændringer fremgår af afsnit 1.

Denne håndbog om dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger indeholder beskrivelser, der har til formål at give vejledning af teknisk karakter. Det forudsætter derfor, at brugeren af håndbogen har den nødvendige tekniske indsigt.

Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING	4
1.1	Referencer	5
1.2	Terminologi	6
2	GRUNDLAG	7
2.1	Regler og vilkår	7
3	MILJØMÆSSIGE HENSYN	7
4	TRAFIK	8
4.1	Trafikklasser	8
4.2	Dimensionsgivende trafikbelastning	8
5	UNDERBUND	13
5.1	Frostfølsomhed	13
5.2	Bæreevne	13
5.3	Koblingshøjde	14
5.4	Stabilisering af underbunden	15
6	MATERIALER	16
6.1	Asfalt	16
6.2	Betonbelægningssten	18
6.3	Øvrige materialer	19
7	DIMENSIONERING AF BEFÆSTELSER	21
7.1	Dimensioneringskriterier	21
7.2	Analytisk-Empirisk dimensionering	23
7.3	Dimensionering ved simulation	23
7.4	Dimensionering af forstærkningsbelægninger	24
8	KATALOG	26
8.1	Befæstelser med varmblandet asfalt	26
8.2	Befæstelser med betonbelægningssten	27
8.3	Befæstelser med bitumenstabiliseret materiale	28
9	BILAG	29
9.1	Bilag 1	29

1 INDLEDNING

Formålet med denne håndbog er at give vejledning i korrekt dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger.

Målgruppen for håndbogen er bygherrer, rådgivere og entreprenører der ønsker at dimensionere befæstelser efter gældende vejregler og udbudsforskrifter.

Håndbogen er struktureret som følger:

Afsnit 2
Afsnittet beskriver hvilke håndbøger, udbudsforskrifter og standarder, der danner grundlag for dimensionering af befæstelser.

Afsnit 3
Afsnittet beskriver miljømæssige hensyn og tiltag der kan gøres i forbindelse med valg af materialer til befæstelser for at reducere udledningen af CO_2 og spare på råstofferne.

Afsnit 4
Afsnittet beskriver fastlæggelsen af den dimensionsgivende trafikbelastning.

Afsnit 5
Afsnittet beskriver hvordan underbundens frostfølsomhed og bæreevne har indflydelse på opbygningen af den samlede befæstelse og hvilke forhold man skal være opmærksom på for at sikre at befæstelsen har tilstrækkelig bæreevne.

Afsnit 6
Afsnittet beskriver de materialer der kan indgå i befæstelsen og giver anvisninger til korrekt valg af materialer og lagtykkelser.

Afsnit 7
Afsnittet beskriver grundlaget for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger.

Afsnit 8
Afsnittet indeholder katalogbefæstelser for befæstelser med varmblandet asfalt, betonbelægningssten og bitumenstabiliseret materiale.

Afsnit 9
Afsnittet indeholder bilag til denne håndbog.

I forhold til håndbog dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger fra september 2017, er der med denne håndbog sket følgende væsentlige ændringer:

- Betegnelser på asfaltmaterialer er ændret, så de overholder anvisningerne i byggevareforordningen
- Der er tilføjet et afsnit, der beskriver miljømæssige hensyn i forbindelse med valg af materialer ift. reduktion af CO_2-belastningen
- Bitumenstabiliseret materiale er tilføjet og der er udarbejdet et katalog, der giver forslag til befæstelser med bitumenstabiliseret materiale, BSM
- Katalog for fleksible befæstelser til 10 års trafik er udgået
- Katalog for befæstelser med betonbelægningssten til 10 års levetid er udgået

1.1 Referencer

1.1.1 Regler og vilkår

- Håndbog Projektering af vejbefæstelser

Almindelig arbejdsbeskrivelse, AAB for Jord:
- Jordarbejder
- Jordstabilisering

Almindelig arbejdsbeskrivelse, AAB for sten, sand og grus:
- Bundsikring af sand og grus
- Stabilt grus
- Macadam

Almindelig arbejdsbeskrivelse, AAB for genbrug:
- Bundsikring af forbrændingsslagge
- Ubundne bærelag af knust beton og tegl
- Ubundne bærelag af knust asfalt og beton

Almindelig arbejdsbeskrivelse, AAB for stabiliserede materialer:
- Hydraulisk bundne bærelag
- BSM-KMA (Bitumenstabiliseret materiale)

Almindelig arbejdsbeskrivelse, AAB for asfalt:
- Varmblandet asfalt
- Overfladebehandling

Almindelig arbejdsbeskrivelse, AAB for brolægning:
- Brolægning

1.1.2 Standarder og normer

Prøvningsmetoder for udførelse af:
- Statiske pladebelastningsmålinger: Vejledning i udførelse af statiske pladebelastningsmålinger, Statens Vejlaboratorium, 1976.
- Faldlodsmålinger: Vejledning i udførelse af deflektionsmålinger med faldlodsapparat, Statens Vejlaboratorium, 1976.
- Minifaldlod: Måling af overflademodul med minifaldlod, prVI 90-4:2007, Vejteknisk institut, 2007.

1.1.3 Øvrige referencer

- Technical Guideline, Bitumen Stabilized Materials, “A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials", TG2 - Third Edition, Southern African Bitumen Association (Sabita), 2020

1.2 Terminologi

I denne håndbog anvendes følgende terminologi:

Terminologi	
Tunge køretøjer	Tunge køretøjer er køretøjer med en tilladt totalvægt > 3,5 ton.
Lette køretøjer	Lette køretøjer er køretøjer med en tilladt totalvægt ≤ 3,5 ton.
Æ10-belastning	Ækvivalent 10-ton aksel der er defineret som en aksel der vejer 10 tons, med tvillingemonterede dæk, med et dæktryk på 0,7 MPa, og en afstand mellem midten af dækkene, i det enkelte hjulsæt, på 350 mm.
Dimensioneringsperiode	Den levetid befæstelsen dimensioneres for.
Dimensionsgivende trafikbelastning, $N_{Æ10}$	Antal ækvivalente 10-tons aksler (Æ10) pr. vognbane i dimensioneringsperioden.
Trafikklasse	Opdeling af trafikbelastninger i klasser (T0-T7) på baggrund af antal tunge køretøjer eller Æ10-belastninger.
MMOPP	Vejdirektoratets dimensioneringsprogram: Mathematical Model Of Pavement Performance.
Vækstfaktor, P	En faktor der tager højde for en trafikstigning i dimensioneringsperioden.
L	Antallet af tunge køretøjer pr. år i begge retninger tilsammen.
Stigende tilvækst	Samme procentvise stigning af foregående års trafik.
Konstant tilvækst	Samme procentvise stigning af første års trafik.
K_F	Korrektionsfaktor der tager højde for tunge køretøjers fordeling hen over vejens tværsnit.
K_K	Korrektionsfaktor der tager højde for trafikkens kanaliseringsgrad.
K_R	Korrektionsfaktor der tager højde for køretøjernes vridning i rundkørsler og kryds.
F_{SS}	Korrektionsfaktor der korrigerer for montering af supersingledæk.
$F_{Æ10}$	Korrektionsfaktor der angiver hvor stor en andel et køretøj i gennemsnit bidrager til den samlede Æ10-belastning.
Supersingledæk	En dæktype hvor de traditionelle tvillingmonterede dæk er erstattet af ét bredere dæk.
Frostrisiko	Underbundens frostfølsomhed udtrykt ved én af tre de frostrisikogrupper: frostsikker, frosttvivlsom og frostfarlig.
Poisson´s forhold, ν	Den numeriske værdi af forholdet mellem materialets tværtøjning og længdetøjning.
Statisk belastning	Belastning fra køretøjer, der holder stille i længere tid.
Katalogmetoden	Fastlæggelse af befæstelse ved opslag i et katalog.

Figur 1.1 Terminologi

2 GRUNDLAG

2.1 Regler og vilkår

2.1.1 Almindelige arbejdsbeskrivelser (AAB)

Ved dimensionering af befæstelser forudsættes det, at der anvendes materialer iht. gældende AAB`ere og at materialerne indbygges i overensstemmelse med gældende AAB`ere.

3 MILJØMÆSSIGE HENSYN

Der findes forskellige miljømæssige hensyn og tiltag der kan gøres i forbindelse med valg af materialer til en befæstelse.

Når der vælges materialer til en befæstelse, kan der med fordel være et øget fokus på at anvende materialer hvor transporten minimeres så den hertil hørende CO_2-udledning reduceres.

Der kan ydermere med fordel lægges øget vægt på anvendelse af genbrugsmaterialer og at genbrugsmaterialerne anvendes så højt oppe i befæstelsen som muligt for at få størst mulig udnyttelse af materialerne og dermed spare på anvendelse af nye råstoffer.

Hvis underbunden har ringe bæreevne og/eller for højt vandindhold, bør det overvejes om der med fordel kan anvendes stabilisering som alternativ metode til udskiftning af materialer. Stabilisering kan sædvanligvis medføre et reduceret forbrug af råstoffer og behovet for transport af materialer kan derved oftest reduceres.

En vigtig parameter er at vælge materialer, der giver mindst mulig udledning af CO_2 såvel ved produktionen som ved anvendelsen af materialerne. Der kan som dokumentation af dette gøres brug af materialernes miljøvaredeklarationer, som giver information om CO_2-udledningen relateret til et givent materiale/produkt.

Miljøvaredeklarationerne benyttes i LCA-værktøjer til beregning af den samlede miljøbelastning i form af CO_2-udledning på et konkret produkt og herfra i relation til det enkelte projekt. Belastningen kan beregnes for alle faser i projektet, lige fra planlægningsfasen til anlægsfasen, og senere over i drifts- og vedligeholdelsesfasen. LCA-værktøjerne giver mulighed for at regne på forskellige scenarier for materialevalg og giver derved mulighed for at vælge den mest miljøvenlige løsning.

4 TRAFIK

Befæstelser dimensioneres for den dimensionsgivende trafikbelastning, $N_{Æ10}$.

Fastsættelsen af den dimensionsgivende trafikbelastning kan ske ved enten at angive en trafikklasse, som beskrevet i afsnit 4.1, eller ved at beregne den dimensionsgivende trafikbelastning, som beskrevet i afsnit 4.2.

4.1 Trafikklasser

Der skelnes mellem trafikklasserne T0-T7, jf. Figur 4.1. Ved omregningen fra antal tunge køretøjer til Æ10, er der forudsat en tosporet vej med en vognbanebredde på 3,75 m.

For en trafikklasse er belastningen angivet som enten et antal tunge køretøjer på vejen pr. døgn i begge retninger tilsammen, som det samlede antal Æ10-belastninger, $N_{Æ10}$ pr. døgn pr. vognbane, eller som den årlige dimensionsgivende trafikbelastning, $N_{Æ10}$ pr. vognbane pr. år.

For veje i trafikklasse T0 er det forudsat at der træffes aktive foranstaltninger mod færdsel med tunge køretøjer, herunder snerydningskøretøjer, idet denne trafikklasse alene er beregnet til kørsel med lette køretøjer.

Trafikklasse	Tunge køretøjer på vejen pr. døgn i begge retninger tilsammen	$N_{Æ10}$ pr. døgn pr. vognbane (øvre grænse)	Dimensionsgivende trafikbelastning pr. vognbane $N_{Æ10}$/år
T0	Ingen	-	-
T1	≤ 1	0,5	75
T2	≤ 65	20	7.300
T3	65 til 120	50	18.300
T4	120 til 560	200	73.000
T5	560 til 1.200	500	180.000
T6	1.200 til 1.500	800	300.000
T7	>1.500	Ingen	>300.000

Figur 4.1 Trafikklasser.

De værdier der er angivet i Figur 4.1 for den dimensionsgivende trafikbelastning, $N_{Æ10}$ pr. vognbane pr. år, benyttes som standard inputværdier for de enkelte trafikklasser ved dimensionering af befæstelser i MMOPP.

4.2 Dimensionsgivende trafikbelastning

Den påvirkning de tunge køretøjer har på befæstelsen afhænger i høj grad af køretøjernes fordeling over vejens tværsnit, hvor mange vognbaner der er pr. retning og den geometriske udformning af vejen.

Herudover har brugen af supersingledæk en væsentlig betydning, idet supersingledæk har en større skadevirkning på befæstelsen end de traditionelle tvillingmonterede dæk.

Disse forhold tages der højde for ved anvendelse af formlen for beregning af den dimensionsgivende trafikbelastning, $N_{Æ10}$ som er beskrevet i dette afsnit.

Den dimensionsgivende trafikbelastning udtrykt ved $N_{Æ10}$ kan beregnes ved anvendelse af formlen:

$$N_{Æ10} = P \times K_F \times K_K \times K_R \times F_{SS} \times \Sigma(F_{Æ10} \times L), \text{ hvor}$$

L bestemmes ud fra følgende formel, i de situationer hvor der anvendes trafiktællinger som basis for fastlæggelse af den dimensionsgivende trafikbelastning:

L = Årsdøgntrafik × 365 × (lastbilprocent/100) × 0,86, hvor

lastbilprocenten i ovenstående formel angiver andelen af tunge køretøjer for hverdage i tidsrummet kl. 6 - 18, mens korrektionsfaktoren 0,86 tager højde for, at der er færre tunge køretøjer på vejene på hverdage i tidsrummet kl. 18 - 6 og i weekender. Hvis der anvendes 7-døgns tællinger, udelades faktoren 0,86.

P beregnes ud fra en af nedenstående formler, afhængig af om den årlige tilvækst i trafikbelastningen er stigende eller konstant i dimensioneringsperioden.

Stigende tilvækst: $$P = \frac{(1+\alpha)^n - 1}{\alpha}$$

Konstant tilvækst: $$P = n \times (1 + (n-1) \times \frac{\alpha}{2})$$

I Figur 4.2 er P beregnet for en stigende tilvækst, α på hhv. 0, 1, 2, 3, 4 og 5 % og en dimensioneringsperiode, n på hhv. 10, 15 og 20 år.

Vækstfaktor P for stigende tilvækst			
Tilvækst, α	Dimensioneringsperiode, n		
	10 år	15 år	20 år
0,00	10,00	15,00	20,00
0,01	10,46	16,10	22,02
0,02	10,95	17,29	24,30
0,03	11,46	18,60	26,87
0,04	12,01	20,02	29,78
0,05	12,58	21,58	33,07

Figur 4.2 Vækstfaktor, P for stigende tilvækst

I Figur 4.3 er P beregnet for en konstant tilvækst α på hhv. 0, 1, 2, 3, 4 og 5 % og en dimensioneringsperiode, n på hhv. 10, 15 og 20 år.

Vækstfaktor P for konstant tilvækst			
Tilvækst, α	Dimensioneringsperiode, n		
	10 år	15 år	20 år
0,00	10,00	15,00	20,00
0,01	10,45	16,05	21,90
0,02	10,90	17,10	23,80
0,03	11,35	18,15	25,70
0,04	11,80	19,20	27,60
0,05	12,25	20,25	29,50

Figur 4.3 Vækstfaktor, P for konstant tilvækst

K_F korrektionsfaktor for fordeling, vælges i Figur 4.4.

Fordeling	K_F
Smalle veje, hvor trafikken forventes at køre i ét spor.	1,0
2-sporede veje	0,5
Veje med 4 eller flere spor	0,45

Figur 4.4 Korrektionsfaktor for fordeling.

K_K korrektionsfaktor for kanaliseringsgrad, vælges i Figur 4.5.

Kanaliseringsgrad	K_K
Opmarchfelter, kanaliserede kryds med kantsten	2,0
Miljøprioriteret gennemfart og lignende	1,5
Vognbanebredde (3,75 m)	1,0

Figur 4.5 Korrektionsfaktor for kanalisering.

Ved vognbanebredder mindre end 3,75 m, som ikke er en miljøprioriteret gennemfart, kan der anvendes værdier for K_K i intervallet 1,0 – 1,5. Det vil være på den sikre side at vælge 1,5.

K_R korrektionsfaktor for rundkørsler og kryds, vælges i Figur 4.6.

Rundkørsler og kryds	K_R
Lige vej uden vridning	1,0
Rundkørsler og kryds med en enkelt vognbane	2,0
Rundkørsler og kryds med to eller flere vognbaner	1,0

Figur 4.6 Korrektionsfaktor for rundkørsler og kryds

F_{SS} korrektionsfaktor for supersingledæk, vælges i Figur 4.7.

Vejtype	F_{SS}
Motorveje	1,8
Øvrige statsveje	1,6
Kommuneveje[1)]	1,2 – 1,5
1) For kommuneveje bør den lave værdi anvendes i by og den høje værdi uden for by. For kommuneveje i by med væsentlig andel af tung trafik eller for kommuneveje uden for by med begrænset tung trafik kan andre værdier i intervallet anvendes.	

Figur 4.7 Korrektionsfaktor for supersingledæk

$F_{Æ10}$ korrektionsfaktor for køretøjer stammer fra trafiktællinger, hvor der foretages en typeopdeling af køretøjerne. For hver enkelt køretøjstype anvendes en specifik $F_{Æ10}$-faktor. $F_{Æ10}$-faktorerne er i de følgende figurer opdelt efter enten køretøjsart eller køretøjslængde.

I Figur 4.8 er $F_{Æ10}$-faktorerne opdelt efter køretøjsarterne sololastbiler, påhængsvogntog, sættevognstog og busser, som er kendt fra manuelle tællinger.

Køretøjsart	$F_{Æ10}$	
	Motorveje og øvrige statsveje	Kommuneveje[1)]
Sololastbiler	0,35	0,15 – 0,25
Påhængsvogntog	1,65	0,90 – 1,50
Sættevognstog	1,30	0,65 – 1,20
Busser, ekskl. ledbusser	0,75	0,50 – 0,60
1) For kommuneveje bør den lave værdi anvendes i by og den høje værdi uden for by. For kommuneveje i by med væsentlig andel af tung trafik eller for kommuneveje uden for by med begrænset tung trafik kan andre værdier i intervallet anvendes.		

Figur 4.8 $F_{Æ10}$-faktorer opdelt på køretøjsart

I Figur 4.9 er $F_{Æ10}$-faktorerne opdelt efter køretøjslængder ud fra en opdeling der anvendes ved de maskinelle længdeklassifikationer, hvor køretøjerne opdeles efter længdegrænserne 5,8 m og 12,5 m. Disse resultater er behæftet med større usikkerhed, da personbiler med anhænger bliver registreret som tunge køretøjer.

Køretøjslængde	Længde-gruppe	$F_{Æ10}$	
		Motorveje og øvrige statsveje	Kommuneveje[1)]
Ved opdeling i 2 længdegrupper	5,8 - 12,5 m	0,20	0,10 - 0,20
	Over 12,5 m	1,35	0,80 - 1,30
Uden opdeling i længdegrupper	Over 5,8 m	0,80	0,15 - 0,75
1) For kommuneveje bør den lave værdi anvendes i by og den høje værdi uden for by. For kommuneveje i by med væsentlig andel af tung trafik eller for kommuneveje uden for by med begrænset tung trafik kan andre værdier i intervallet anvendes.			

Figur 4.9 $F_{Æ10}$-faktorer opdelt efter køretøjslængde.

$F_{Æ10}$-faktorerne gælder for almindeligt forekommende trafik. For kommuneveje uden væsentlig andel af gennemkørende trafik er $F_{Æ10}$-faktorerne lavere end for det øvrige vejnet.

Ved større andele af særligt tunge køretøjer bør disse køretøjers $F_{Æ10}$-faktorer fastlægges separat, f.eks. ved brug af 4. potens reglen.

5 UNDERBUND

En vigtig parameter for dimensionering af befæstelser, er underbundens frostfølsomhed og bæreevne. Kendskabet til hvilke jordarter der findes i underbunden, er af afgørende betydning for hvor stor koblingshøjden af befæstelsen bør være, for at kunne modstå frostpåvirkning af underbunden og for at have tilstrækkelige bæreevne til at kunne modstå den dimensionsgivende trafikbelastning.

Ved anlæg af en vej bør der udføres geotekniske undersøgelser for at klarlægge hvilke jordarter, der findes på strækningen, så underbundens frostfølsomhed og styrke kan fastlægges. Hvis der ikke udføres geotekniske undersøgelser, kan underbundens bæreevne indledningsvis skønnes.

5.1 Frostfølsomhed

Ved dimensionering af befæstelser inddeles underbunden i tre risikogrupper der beskriver risikoen for frosthævning. De tre risikogrupper er:

- Frostsikker underbund
- Frosttvivlsom underbund
- Frostfarlig underbund

De tre risikogrupper for frostfølsomheden er et udtryk for, hvor stor risikoen er for, at underbunden vil fryse. Fryser underbunden vil det kunne medføre skadelige frosthævninger i befæstelsen, idet risikoen afhænger af hvilke jordarter, der er til stede i underbunden. Risikogruppe for frosthævning kan vurderes ved en geoteknisk undersøgelse.

Hvis der ikke foreligger tilstrækkelige oplysninger om hvilke jordarter der findes i underbunden, bør der udføres undersøgelser i marken, som kan give et velunderbygget kendskab til jordbundsforholdene.

5.2 Bæreevne

Underbundens bæreevne udtrykkes i dimensioneringssammenhænge som en E-værdi. E-værdien afhænger blandt andet af jordbundens art.

På baggrund af oplysninger om typen af jordarter kan underbundens E-værdi indledningsvis fastsættes ved at anvende nedenstående vejledende værdier:

Jordarter	E-værdi [MPa]
Moræneler, kalkfrit[1)]	10 - 20
Moræneler, kalkholdigt[1)]	20 - 50
Moræneler, fedt, kalkholdigt[1)]	10 - 30
Senglaciale ler- og siltaflejringer[1)]	5 - 15
Sand, fint (frostfarligt)	40 - 70
Sand	70 - 150
Grus	100 - 300
1) Afhængigt af in situ vandindhold.	

Figur 5.1 E-værdier for underbunden.

Som standard E-værdier for de tre risikogrupper for underbundens frostfølsomhed, for hhv. frostsikker, frosttvivlsom og frostfarlig anvendes ved dimensionering i MMOPP følgende værdier:

Frosthævningsrisiko	E-værdi [MPa]
Frostsikker	100
Frosttvivlsom	40
Frostfarlig	20

Figur 5.2 Standard E-værdier for underbunden.

Ved anlæggets gennemførelse bør det verificeres ved måling, at niveauet for underbundens bæreevne er i overensstemmelse med det niveau, der blev fastlagt ved den indledende dimensionering. Hvis underbundens bæreevne er væsentlig lavere end forudsat, bør der foretages en fornyet dimensionering, hvor den endelige koblingshøjde fastlægges, så det sikres at befæstelsen har den fornødne bæreevne.

Hvis verifikationen viser at underbundens bæreevne er bedre end forudsat ved den indledende dimensionering, er det ikke nødvendigt at foretage en fornyet dimensionering.

Måling af underbundens bæreevne udføres ved statisk pladebelastningsforsøg. Der kan anvendes en anden metode, hvis korrelationen mellem den valgte metode og statisk pladebelastningsforsøg er kendt.

5.3 Koblingshøjde

Koblingshøjden fastlægges på basis af underbundens frosthævningsrisiko og vejens trafikklasse.

Er den aktuelle underbunds frosthævningsrisiko ikke bestemt på anden måde, kan værdierne i Figur 5.3 herunder benyttes.

Frosthævnings risiko	Mindste koblingshøjde		
	Frostsikker	Frosttvivlsom	Frostfarlig
Materiale-typer / Trafik-klasse	Sand og grus uden betydende partier af silt og siltholdigt ler	Moræneler, ler og stabiliseret underbund[2)]	Silt og meget siltholdige jordarter med mulighed for vandtilførsel, forbrændingsslagge og flyveaske[1)] og stabiliseret underbund[2)]
T0, T1	Som bestemt ud fra Analytisk-Empirisk Dimensionering	400 mm	500 mm
T2		500 mm	700 mm
T3		600 mm	800 mm
T4, T5, T6, T7		700 mm	900 mm

1) Aktuel frosthævningsrisiko bør fastlægges ved laboratorieundersøgelse.
2) Se afsnit 5.4.

Figur 5.3 Mindste koblingshøjder under hensyn til frosthævningsrisiko og trafikklasse.

Ved fastlæggelse af mindste koblingshøjde er det forudsat at vejkassen tørholdes ved etablering af et velfungerende afløbssystem for både overfladevand og grundvand.

På strækninger hvor der anvendes kantsten eller rørlagt afløb fra kørebanen med befæstet fortov eller rabat, kan de i Figur 5.3 angivne mindste koblingshøjder for frosttvivlsom og frostfarlig underbund reduceres med 100 mm.

Hvis geotekniske undersøgelser viser at jordarterne betegnes som frosttvivlsomme, men at E-værdien kun vurderes at være 30 MPa, vil det for katalogbefæstelserne i Figur 8.1 være tilstrækkeligt for befæstelserne i trafikklasserne T2 – T5 at øge bundsikringslagets tykkelse med 100 mm. For katalogbefæstelserne i trafikklasse T0 og T1 er det ikke nødvendigt at øge tykkelsen af bundsikringslaget.

5.4 Stabilisering af underbunden

Stabilisering af underbunden vil kunne reducere befæstelsens koblingshøjde, idet styrken af underbunden øges. Underbundens frostfølsomhed kan dog ikke forudsættes ændret som følge af stabiliseringen, hvorfor fastlæggelsen af mindste koblingshøjde forsat skal ske efter anvisningerne i Figur 5.3, ud fra den aktuelle underbunds frosthævningsrisiko.

Hvis stabiliseringen udføres i henhold til Almindelig Arbejdsbeskrivelse (AAB) for Jordstabilisering, anvendes en regningsmæssig E-værdi på 55 MPa for underbunden, i forhold til en måling med minifaldlod.

6 MATERIALER

Ved dimensionering af befæstelser kræves der kendskab til materialernes E-værdier og Poisson's forhold, ν.

De regningsmæssige E-værdier for de almindeligt forekommende asfaltmaterialer fremgår af Figur 6.2 og for de øvrige almindelige materialer af Figur 6.5.

De E-værdier der er angivet i figurerne, er de regningsmæssige E-værdier, der anvendes ved dimensionering af befæstelser. Ved udførelse af en asfaltbelægning med flere lag, vil den vægtede E-værdi af den samlede asfaltbelægning erfaringsmæssigt svare til den E-værdi, der kan eftervises ved udførelse af faldlodsmålinger.

Ved dimensionering af befæstelser tillægges Poisson´s forhold nedenstående værdier.

Materiale	Poisson`s forhold, ν
Beton	0,15
Hydraulisk Bundne Bærelag (HBB)	0,25
Øvrige materialer	0,35

Figur 6.1 Poisson´s forhold, ν

Ovenstående forudsætninger er grundlag for håndbogens katalogbefæstelser, som fremgår af afsnit 8.

6.1 Asfalt

Der anvendes sædvanligvis følgende materialer: slidlag, kombilag, bindelag og bærelag. De forskellige typer er vist herunder:

Slidlag:
- Overfladebehandling, OB
- Tyndlagsbelægning, kombinationsbelægning, TB k
- Pulverasfalt, type A, tætgraderet, PA t
- Asfaltbeton, tætgraderet, AB t
- Skærvemastiks, SMA
- Semi-fleksibel belægning, SFB

Kombilag:
- Asfaltbetonkombilag, KBL

Bindelag:
- Asfaltbetonbindelag, ABB

Bærelag:
- Grusasfaltbeton specificeres i tre typer, hhv. GAB 0, GAB I, GAB II

I Figur 6.2 er de regningsmæssige E-værdier samt anbefalede minimum- og maksimumlagtykkelser for asfaltmaterialerne angivet.

Materiale		E-værdi[1] [MPa]		Anbefalet interval for lagtykkelse[2] [mm]
		Dybde under vejoverflade indtil 100 mm t = 30° C	Dybde under vejoverflade over 100 mm t = 25° C	
Slidlag	OB 500	500		10-15
	TB k 1000	1.000		20-25
	TB k 1500	1.500		20-25
	TB k 2500	2.500		20-25
	PA 500	500		15-35
	AB 1000	1.000		20-40
	AB 1500	1.500		25-40
	AB 2000	2.000		25-40
	AB 3000	3.000		30-40
	SMA 1000	1.000		20-30
	SMA 1500	1.500		20-30
	SMA 2000	2.000		20-35
	SMA 3000	3.000		20-40
	SFB 8000	8.000		30-80
Kombilag	KBL 500	500		40-65
	KBL 1000	1.000		40-65
	KBL 1500	1.500		40-65
	KBL 2000	2.000		40-65
Bindelag	ABB 3000	3.000	5.000	40-85
Bærelag	GAB 0 2000	2.000	3.000	40-65
	GAB 0 3000	3.000	5.000	45-70
	GAB I 2000	2.000	3.000	50-100
	GAB I 3000	3.000	5.000	60-110
	GAB II 3000	3.000	5.000	80-180

1) Der henvises til bilag 1 for sammenhængen mellem materiale E-værdier og regningsmæssige bindemiddelhårdheder i MMOPP, samt anvendelsesområder.

2) Interval for lagtykkelser er fastsat ud fra materialetyper og stendensiteter. Der kan forekomme variationer i lagtykkelserne indenfor de enkelte materialer, se bilag 1. De maksimale lagtykkelser for bærelagene, er anbefalede maksimale lagtykkelse for udlægning af materialet i ét lag. Ved behov for udlægning af bærelag i større tykkelse end de anførte maksimale lagtykkelser, udlægges det samlede bærelagsmateriale i mere end ét lag.

Figur 6.2 E-værdier og interval for lagtykkelser for asfaltmaterialer.

For befæstelser hvor den samlede tykkelse af asfaltlaget overstiger 100 mm, beregnes E-værdien af det samlede asfaltlag bestående af slidlag, evt. et bindelag og bærelaget ved brug af formlen for ækvivalente tykkelsers metode. Funktionaliteten er indbygget i MMOPP.

6.1.1 Hastighedsreduktion af E-værdier for asfaltmaterialerne

Ved en reduktion af kørselshastigheden til under 60 km/h vil asfaltens visko-elastiske karakter medføre en reduktion af E-værdien for asfaltlaget.

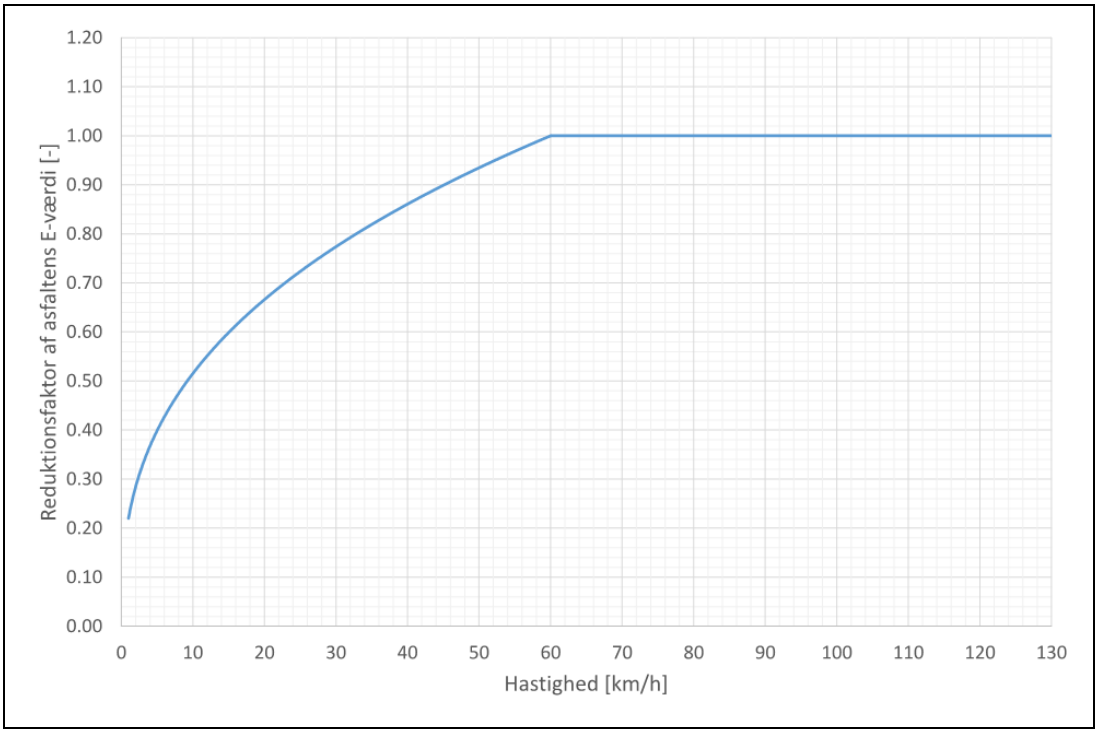
Efter danske forhold kan det traditionelt antages, at størrelsen af reduktionen afhænger af hastigheden som angivet i nedenstående formel for hastigheder under 60 km/h:

$$E_V = E_{60} \times \left(\frac{V}{60\ \mathrm{km/h}}\right)^{0,37}$$

hvor (E_V) og (E_{60}) er asfaltens E-værdi angivet i MPa ved henholdsvis den givne hastighed (V) i km/h og ved en hastighed på mindst 60 km/h (standardværdier for asfaltens E-værdi fremgår af Figur 6.2).

Ved en hastighed på 20 km/h vil et asfaltmateriale have en E-værdi på 1.998 MPa svarede til 66,6 % af E-værdien ved en hastighed ≥ 60 km/h, forudsat at asfaltmaterialet har en standard E-værdi på 3.000 MPa.

Reduktionsfaktoren for asfaltens E-værdi er illustreret i nedenstående figur:



Figur 6.3 Grafisk visning af reduktionsfaktor for asfaltens E-værdi som følge af hastigheden.

Funktionaliteten er indbygget i MMOPP.

Ved dimensionering af befæstelser til pladser med statiske belastninger, samt busstoppesteder anvendes typisk en dimensioneringshastighed på 2-3 km/h.

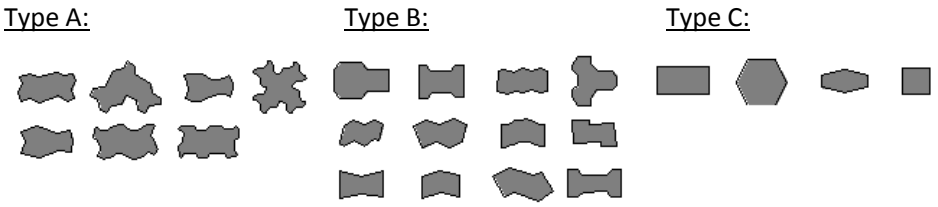
6.2 Betonbelægningssten

For befæstelser med betonbelægningssten (BBS) er det blandt andet stenens geometrisk udformning, tykkelsen af stenen og læggemønsteret der har indflydelse på befæstelsens bæreevne.

Betonbelægningssten er defineret som en sten med en geometrisk udformning som angivet i DS/EN 1338. Ved dimensioner udover angivelserne i DS/EN 1338 er der tale om fliser og de viste katalogbefæstelser er derfor ikke gældende.

Betonbelægningssten findes i forskellige udformninger som kan inddeles i følgende tre hovedtyper:

- **Type A:** Fortandede sten der griber ind i hinanden og derved modvirker bevægelser mellem stenene i både tvær- og længdeaksen
- **Type B:** Fortandede sten der griber ind i hinanden og derved modvirker bevægelser mellem stenene i én retning
- **Type C:** Sten der ikke har nogen låse-effekt



Figur 6.4 Eksempler på de forskellige stentyper.

6.3 Øvrige materialer

De øvrige materialer der traditionelt anvendes i befæstelser, er delt op i hhv. bundne og ubundne materialer.

Bundne materialer:

- Beton: Betonbelægninger dimensioneres med beton i styrkeklasse $C_{40/50}$ iht. DS/EN 1992-1-1 + AC, 2008.
- Hydraulisk bundet bærelag: HBB specificeres i to typer hhv. HBB-A og HBB-B i styrkeklasse $C_{6/8}$.
- Bitumenstabiliseret materiale: BSM

De ubundne materialer er:

- Macadam: Der skelnes mellem to typer af macadam, hhv. skærvemacadam og singelsmacadam.
- Stabilt grus: Stabilt grus specificeres i to kvaliteter hhv. SG I og SG II.
- Knust Beton, Knust Beton og Tegl: Genbrugsmaterialer der indeholder beton eller en blanding af beton og tegl. Materialerne specificeres i fire kvaliteter hhv. KB, KBT I, KBT II og KBT III.
- Knust asfalt, Knust asfalt og Beton: Genbrugsmaterialer der indeholder asfalt eller en blanding af asfalt og beton. Materialerne specificeres i tre kvaliteter hhv. KAS, KAB I og KAB II.
- Bundsikring af sand og grus: Bundsikring specificeres i to kvaliteter hhv. BL I og BL II
- Bundsikringslag af forbrændingsslagge: Forbrændingsslagge fra forbrændingsanlæg specificeres i én kvalitet, FS.

I Figur 6.5 er de regningsmæssige E-værdier og anbefalede minimum- og maksimumlagtykkelser for de bundne og ubundne materialer angivet.

Materiale		E-værdi [MPa]	Interval for lagtykkelser[1)]	
			Anbefalet minimum tykkelse [mm]	Anbefalet maksimum tykkelse ved udlægning i ét lag [mm]
Bundne	Beton, $C_{40/50}$, uarmeret	35.000	150	-
	Hydraulisk Bundet Bærelag (HBB-A), $C_{6/8}$, initial	9.000	150	300
	Hydraulisk Bundet Bærelag (HBB-A), terminal	1.500	150	300
	Hydraulisk Bundet Bærelag (HBB-B), $C_{6/8}$, initial	13.000	150	250
	Hydraulisk Bundet Bærelag (HBB-B), terminal	2.000	150	250
	Bitumenstabiliseret materiale BSM	700	125	250
Ubundne	Skærvemacadam (SKM)	1.000	70	130
	Singelsmacadam (SIM)	600	70	130
	Stabilt grus I (SG I)	350	100	250
	Stabilt grus II (SG II)	300	100	250
	Knust Beton (KB)	350	100	250
	Knust Beton/Tegl I (KBT I)	250	100	250
	Knust Beton/Tegl II (KBT II)	200	100	250
	Knust Beton/Tegl III (KBT III)	150	100	250
	Knust Asfalt (KAS)	250	100	250
	Knust Asfalt/Beton I (KAB I)	250	100	250
	Knust Asfalt/Beton II (KAB II)	300	100	250
	Bundsikring (BL I og BL II), U > 3	150	200	250
	Bundsikring (BL I og BL II), U ≤ 3	100	200	300
	Forbrændingsslagge som bundsikringslag (FS)	100	200	250

1) For de ubundne materialer er interval for lagtykkelser fastsat ud fra materialetyper. De maksimale lagtykkelser for lagene, er anbefalede maksimale lagtykkelse for udlægning af materialerne i ét lag. Ved behov for udlægning af større tykkelse end de anførte maksimale lagtykkelser, udlægges materialet i mere end ét lag.

Figur 6.5 E-værdier og interval for lagtykkelser for øvrige materialer.

7 DIMENSIONERING AF BEFÆSTELSER

Håndbogen indeholder tre niveauer for dimensionering af befæstelser:

- Niveau 1 – Katalogmetoden
- Niveau 2 – Analytisk-empirisk dimensionering
- Niveau 3 – Dimensionering ved simulation

Niveau 1 Ved anvendelse af katalogmetoden kan der fastlægges befæstelser i trafikklasse T0 til T5 ved brug af katalogerne i afsnit 8. Metoden kræver udelukkende at man fastlægger vejens trafikklasse og træffer nogle valg ift. materialetyper. Katalogmetoden forudsætter at underbunden har en bæreevne på 40 MPa svarende til kategorien for frosttvivlsom underbund.

Niveau 2 er den analytisk-empiriske dimensioneringsmetode som er indbygget i MMOPP. Den anvendes til dimensionering af befæstelser på grundlag af prædefinerede eller brugervalgte trafik- og materialeparametre. Metoden benyttes når der ønskes en detaljeret og optimeret dimensionering af befæstelserne. Den dimensionsgivende trafikbelastning fastlægges som beskrevet i afsnit 4 og benyttes som input til beregningerne sammen med valg af materialer og underbundens bæreevne. På niveau 2 kan der dimensioneres fleksible, halvstive og stive befæstelser, og forstærkningsbelægninger af fleksible og halvstive befæstelser.

Niveau 3 Dimensionering ved simulation som er indbygget i MMOPP, kan benyttes til at dimensionere befæstelser på grundlag af simulerede nedbrydningsforløb som sættes op til at overholde standardiserede eller brugervalgte krav til befæstelsens holdbarhed og pålidelighed. På dette niveau kan der dimensioneres nye fleksible befæstelser og forstærkningsbelægninger af fleksible befæstelser, og det er muligt at foretage en optimering af anlægsomkostningerne for nye fleksible befæstelser.

Niveau 1 og 2 betragtes som gældende, mens niveau 3 er ment som et værktøj til at sammenligne nedbrydningsforløbet af forskellige alternative befæstelser eller til økonomisk optimering. Desuden giver dimensionering ved simulation mulighed for at afprøve forskellige klimamodellers påvirkning af en befæstelse.

Både ved anvendelse af den analytisk-empiriske dimensioneringsmetode og ved anvendelse af dimensionering ved simulation, er man i stand til at fastlægge flere varianter af en befæstelse ud fra forskellige forhold. Uanset brug af metode gælder det, at der ved det endelige valg af lagtykkelser skal tages hensyn til arbejdets praktiske gennemførelse og udførelsestolerancer, og det bør sikres at der er overensstemmelse med gældende udbudsforskrifter for de anvendte materialer.

7.1 Dimensioneringskriterier

De danske dimensioneringskriterier har følgende form:

Ubundne materialer: Dimensioneringskriteriet er største tilladelige lodrette trykspænding på oversiden af laget:

$$\sigma_Z = 0{,}086\ \text{MPa} \times (E/160\ \text{MPa})^{1{,}06} \times (N_{Æ10}/10^6)^{-0{,}25}$$

Som det ses af ovenstående dimensioneringskriterie for ubundne materialer, afhænger den tilladelige trykspænding af lagets E-værdi (E) i MPa.

Asfalt: Dimensioneringskriteriet er største tilladelige vandrette træktøjning i undersiden af asfaltlaget:

$$\varepsilon_h = -0{,}000250 \times (N_{Æ10}/10^6)^{-0{,}191}$$

Ved forstærkningsberegninger beregnes tøjningen i undersiden af det gamle asfaltlag.

Beton: Dimensioneringskriteriet er største tilladelige vandrette træktøjning i undersiden af betonlaget:

$$\varepsilon_h = -0{,}000038 \times (N_{Æ10}/10^6)^{-0{,}118}$$

Dimensioneringskriteriet for beton, er et "ækvivalent" dimensioneringskriterie, der sikrer, at der fastlægges samme tykkelser som ved diagrammetoden i den oprindelige Vejregel 7.10.03.

Der gøres opmærksom på, at teoretisk korrekt dimensionering af betonbelægninger foregår ved at bestemme trækspændingerne i betonen fra Æ10-belastningen og sammenholde disse med betonens bøjningstrækstyrke. Spændingerne beregnes enten ved hjælp af Westergaards formler eller Finite Element beregning. Ingen af disse metoder er indbygget i MMOPP.

Opmærksomheden henledes på at der ved dimensionering af betonbelægninger med MMOPP ikke tages hensyn til bl.a. pladestørrelser, armering, lastoverførsel mellem plader, samt fugestørrelser og typer.

Betonbelægningssten (BBS): Der findes ikke et analytisk-empirisk dimensioneringskriterie for betonbelægningssten, det er derfor ikke muligt at dimensionere befæstelser med betonbelægningssten i MMOPP. Befæstelser med betonbelægningssten kan fastlægges ved brug af kataloget angivet i Figur 8.2.

Hydraulisk Bundne Bærelag (HBB): Dimensioneringskriteriet er største tilladelige vandrette træktøjning i undersiden af HBB-laget:

HBB-A $C_{6/8}$: $\varepsilon_h = -0{,}000060 \times (N_{Æ10}/10^6)^{-0{,}180}$

HBB-B $C_{6/8}$: $\varepsilon_h = -0{,}000075 \times (N_{Æ10}/10^6)^{-0{,}139}$

Kriterierne for HBB afhænger af materialets initial E-værdi (E_{INIT}), samt hvilken grad af nedbrydning, der accepteres ved dimensioneringsperiodens udløb. Nedbrydningsgraden karakteriseres ved materialets terminal E-værdi (E_{TERM}). E-værdierne i initialtilstanden er fastlagt ud fra 360-døgns cylindertrykstyrken (højde:diameterforhold på 2:1). E-værdierne fremgår af Figur 6.5

Dimensionering af HBB foretages på grundlag af 28-døgns styrkekravene. Materialerne karakteriseres i henhold til DS/EN 14227-1, og i håndbogen skelnes der mellem typerne HBB-A og HBB-B. Ved dimensionering af befæstelser med HBB i MMOPP, anvendes parallel dimensionering, hvor forventet, teoretisk levetid af befæstelsen kontrolleres med HBB-laget i både initial- og terminal tilstand.

Den valgte E-værdi for terminaltilstand sikrer, at materialet efter dimensioneringsperiodens udløb vil bevare en høj bæreevne.

Bitumenstabiliseret materiale (BSM): For befæstelser med bitumenstabiliseret materiale er der i denne håndbog benyttet det sydafrikanske kriterie kaldet Stellenbosch kriteriet, som er udviklet på baggrund af laboratorie- og feltundersøgelser og baseret på værdier for materialets kohæsion og friktionsvinkel bestemt ved triaxialforsøg.

Kriteriet er beskrevet i Technical Guideline, Bitumen Stabilized Materials, hvor de forskellige parametre der indgår i kriteriet, er beskrevet nærmere.

Kriteriet ser ud som angivet herunder:

$$\text{Log } N = A - 57{,}286(DSR)^3 + 0{,}0009159(P_{MDD} \times RetC), \text{ hvor}$$

N	Antallet af standardakselpassager indtil der forekommer en valgt sporkøringsdybde
A	Pålidelighedskoefficient knyttet til valgt vejkategori
DSR	Deviator Stress Ratio - Forholdet mellem forskellen på største og mindste hovedspænding i den aktuelle spændingstilstand og forskellen på største og mindste hovedspænding ved brudtilstanden.
P_{MDD}	Compaction Density - Komprimeringsgrad
RetC	Retained Cohesion - Forhold mellem kohæsion i vandmættet tilstand og kohæsion ved ligevægt

Det er ikke for nuværende muligt at dimensionere befæstelser med BSM i MMOPP, men befæstelserne kan fastlægges ud fra kataloget i Figur 8.3. Kataloget er udarbejdet ved brug af det sydafrikanske dimensioneringsværktøj Rubicon Toolbox med udgangspunkt i Stellenbosch kriteriet for BSM-laget og de danske kriterier for de øvrige lag.

7.2 Analytisk-Empirisk dimensionering

Den analytisk-empiriske dimensioneringsmetode er baseret på lineærelastiske beregninger med uendelig vandret udstrækning af lagene. Fastlæggelse af lagtykkelserne sker ud fra de dimensioneringskriterier der er angivet i afsnit 7.1, som sammenkæder trafikmængden udtrykt ved den dimensionsgivende trafikbelastning og de dynamiske påvirkninger, der kan tillades i de enkelte lag.

7.3 Dimensionering ved simulation

Simulationsberegningerne er baseret på ækvivalente tykkelsers metode. I MMOPP foretages en løbende opskrivning af trafikmængden (stigende tilvækst) med den valgte tilvækst.

Ved denne type dimensionering fastlægges fire forskellige levetider angivet i antal år for den valgte befæstelse. Disse levetider er baseret på acceptgrænser for befæstelsens tilladelige tilstand, som følger:

IRI – jævnhed af befæstelsens overflade:
Tilladelig værdi: 4 m/km

Sporkøring – gennemsnitlig spordybde:
Tilladelig værdi: 10 mm
Typisk er målte spordybder på op til 15 mm acceptable ved normale tværfald. Den valgte grænseværdi giver rum for en 5 mm sporkøring af asfaltlagene, fremkommet ved forskydningsdeformationer, der ikke tages i regning i MMOPP.

E_{SNIT} - forhold mellem asfaltlagets gennemsnitlige E-værdi og et intakt asfaltlag med de aktuelle materialers standard E-værdier.
Tilladelig værdi: 0,67
Når denne værdi nås, er der risiko for begyndende revnedannelser i køresporet.

E_{MIN} - forhold mellem den mindste E-værdi af asfaltlaget og et intakt asfaltlag med de aktuelle materialers standard E-værdier.

Tilladelig værdi: 0,35

Når denne værdi nås, er der risiko for slaghuller i køresporet.

7.3.1 Begrænsninger

Der gøres opmærksom på, at simulationsdelen af programmet er kalibreret til danske forhold. Dette medfører, at simulationsberegninger skal udføres under anvendelse af databasens standardparametre for at være i overensstemmelse med håndbogen.

7.3.2 Præcision i simulation

Simulationsberegning er en stokastisk proces, hvor skønnet over de "sande" værdier af middel og spredning for de forskellige levetider bliver mere præcist, jo flere simulationer, der foretages.

Det er f.eks. nødvendigt at foretage ca. 1.000 simulationer for at bestemme 85 % fraktiler for levetiderne med en præcision bedre end 4 %. I det praktiske arbejde samt udviklingsarbejdet med MMOPP har vejregelgruppen sjældent brugt mere end 100 simulationer.

Vurdering af et slutresultat, eller sammenligning af to alternative befæstelser bør dog altid baseres på et højt antal simulationer.

7.4 Dimensionering af forstærkningsbelægninger

7.4.1 Inddata til forstærkningsdimensionering

Dimensionering af forstærkningsbelægninger kan udføres ved både analytisk-empirisk dimensionering og ved simulation.

Som forberedelse til en forstærkningsdimensionering opdeles strækningen ved hjælp af egnede statistiske metoder i delstrækninger, der statistisk set kan betragtes som ensartede med hensyn til materialer, lagtykkelser, nedbrydningstilstand m.v.

Inddata til dimensioneringen er:

- trafik, beregnet efter samme metodik som for nye befæstelser
- data for den eksisterende befæstelse, hvor der anvendes gennemsnitlige lagtykkelser og 25 % fraktiler for lagenes E-værdier (dvs. at 75 % af E-værdierne er højere end de indtastede værdier)
- forstærkningslagets E-værdi (typisk 2.000 MPa eller 3.000 MPa afhængig af valg af materiale).

E-værdier vil typisk komme fra faldlodsforsøg. For asfaltlaget bør de målte E-værdier regningsmæssigt korrigeres til referencetemperaturen på 25°C inden beregning af 25 % fraktilen. Mange faldlodsprogrammer kan udføre denne korrektion automatisk, ellers kan anvendes en omregning efter nedenstående formel, hvor (T) er asfalttemperaturen i °C:

Gammel asfalt (ældre end 1 år):

$$k = 0{,}05 + 0{,}95 \times e^{0{,}03\times((T-25°C)/1°\,C)}$$

Ny asfalt (indtil 1 år):

$$k = 0{,}25 + 0{,}75 \times e^{0{,}13\times((T-25°C)/1°\,C)}$$

Disse faktorer er altså multiplikatorer, f.eks. skal en E-værdi målt på gammel asfalt ved 15° C multipliceres med en faktor på ca. 0,75 for at kunne anvendes i dimensioneringsberegningerne.

7.4.2 Forstærkningsdimensionering ved analytisk beregning

Selve dimensioneringen foretages ved at dimensioneringsprogrammet justerer forstærkningslagets tykkelse indtil den lineærelastiske beregninger viser at spændingskriterierne på oversiden af de ubundne lag og underbunden, samt tøjningskriteriet i undersiden af det eksisterende asfaltlag alle er overholdt.

7.4.3 Forstærkningsdimensionering ved simulation

Dimensionering af forstærkningsbelægninger ved simulation kræver at der regningsmæssigt tilvejebringes en nedbrudt befæstelse.

Inddata til dimensioneringen er de samme som til den analytiske dimensionering. Disse anvendes af programmet så der regningsmæssigt tilvejebringes en nedbrudt befæstelse, hvis E-værdier og nedbrydningstilstand svarer til de egenskaber der er målt på vejen.

Brugeren kan så indtaste en forstærkningstykkelse. Som udgangspunkt kan f.eks. anvendes resultatet fra den analytiske dimensionering. MMOPP vil så simulere nedbrydningen af den forstærkede befæstelse og præsentere resultatet i form af de sædvanlige middelværdier og spredninger.

Brugeren må herefter vurdere, om der er opnået den ønskede levetid og pålidelighed, eller foretage en beregning med ændret forstærkningstykkelse.

8 KATALOG

8.1 Befæstelser med varmblandet asfalt

	Befæstelser med varmblandet asfalt til 20 års trafik (lagtykkelse i mm)					
Trafikklasse	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Tunge køretøjer pr. døgn	Ingen	< 1	≤ 65	65-120	120-560	560-1.200
Æ10-belastning		0,5	0,5-20	20-50	50-200	200-500
	30 PA 500 120 SG 250 BL	20 PA 500 40 GAB 0 2000 100 SG 240 BL	20 PA 500 95 GAB I 2000 150 SG 270 BL	20 PA 500 45 GAB 0 2000 75 GAB I 2000 160 SG 300 BL		
			25 AB 1000 85 GAB I 2000 160 SG 265 BL	25 AB 1000 40 GAB 0 2000 70 GAB I 2000 170 SG 295 BL	25 AB 2000 45 GAB 0 3000 75 GAB I 3000 220 SG 335 BL	30 AB 3000 50 ABB 3000 85 GAB I 3000 250 SG 350 BL
			25 SMA 2000 80 GAB I 2000 160 SG 275 BL	25 SMA 2000 40 GAB 0 2000 65 GAB I 2000 170 SG 300 BL	25 SMA 3000 50 GAB 0 3000 70 GAB I 3000 220 SG 335 BL	30 SMA 3000 50 ABB 3000 85 GAB I 3000 250 SG 350 BL
1)	Som materiale til ubundet bærelag og bundsikringslag kan anvendes egnede genbrugsmaterialer, såfremt materialernes E-værdi som minimum er den samme eller højere end E-værdierne for hhv. SG og BL.					

Figur 8.1 Befæstelser med varmblandet asfalt for 20 års trafik på frosttvivlsom underbund (40 MPa) for trafikklasse T0 - T5 og hastigheder større end 60 km/h. Hvor der er angivet SG, er det tilstrækkeligt at anvende SG II og hvor der er angivet BL, er det tilstrækkeligt at anvende BL I eller BL II med U ≤ 3.

8.2 Befæstelser med betonbelægningssten

	Befæstelser med betonbelægningssten til 20 års trafik (lagtykkelse i mm) [1) og 3)]					
Trafikklasse	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Tunge køretøjer pr. døgn	Ingen	< 1	≤ 65	65-120	120-560	560-1.200
Æ10-belastning		0,5	0,5-20	20-50	50-200	200-500
	60 BBS 30 AG 120 SG 190 BL[2)]	60 BBS 30 AG 120 SG 190 BL[2)]	80 BBS 30 AG 240 SG 150 BL[2)]	80 BBS 30 AG 270 SG 220 BL	80 BBS 30 AG 330 SG 260 BL	90 BBS 30 AG 370 SG 210 BL
		60 BBS 30 AG 130 HBB 180 BL[2)]	80 BBS 30 AG 165 HBB 225 BL	80 BBS 30 AG 180 HBB 310 BL	80 BBS 30 AG 205 HBB 385 BL	90 BBS 30 AG 245 HBB 335 BL
		60 BBS 30 AG 80 GAB I 2000 230 BL	80 BBS 30 AG 110 GAB I 2000 280 BL	80 BBS 30 AG 125 GAB I 2000 365 BL	80 BBS 30 AG 140 GAB I 2000 450 BL	90 BBS 30 AG 155 GAB I 2000 425 BL
Anbefalet BBS stentype	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B	A	A
	Vælges andre stentyper end de anbefalede, bør relevant rådgivning indhentes for at sikre befæstelsens funktionsegenskaber. Se endvidere afsnittet om materialeparametre.					

1) Som materiale til ubundet bærelag og bundsikringslag kan anvendes egnede genbrugsmaterialer, såfremt materialernes E-værdi som minimum er den samme eller højere end E-værdierne for hhv. SG og BL.
2) Tykkelsen er mindre end den anbefalede minimumslagtykkelse, men er erfaringsmæssigt tilstrækkelig.
3) Tykkelsen af afretningsgruslaget er 20-40 mm, som angivet i DS 1136. I kataloget er afretningslagets tykkelse angivet som 30 mm.

Figur 8.2 Befæstelser med betonbelægningssten til 20 års trafik på frosttvivlsom underbund (40 MPa) for trafikklasse T0-T5. Hvor der er angivet SG, er det tilstrækkeligt at anvende SG II og hvor der er angivet BL, er det tilstrækkeligt at anvende BL I eller BL II med U ≤ 3.

8.3 Befæstelser med bitumenstabiliseret materiale

	Befæstelser med bitumenstabiliseret materiale til 20 års trafik (lagtykkelse i mm)					
Trafikklasse	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Tunge køretøjer pr. døgn	Ingen	< 1	≤ 65	65-120	120-560	560-1.200
Æ10-belastning		0,5	0,5-20	20-50	50-200	200-500
	15 OB 500 125 BSM 100 SG 160 BL[2)]	25 AB 1000 125 BSM 100 SG 150 BL[2)]	30 AB 2000[3)] 150 BSM 100 SG 250 BL	35 AB 3000[3)] 160 BSM 150 SG 255 BL	40 AB 3000[3)] 190 BSM 200 SG 270 BL	30 AB 3000 40 ABB 3000 250 BSM 200 SG 220 BL
	25 PA 500 125 BSM 100 SG 150 BL[2)]	25 SMA 1000 125 BSM 100 SG 150 BL[2)]	30 SMA 3000 160 BSM 110 SG 200 BL	35 SMA 3000 160 BSM 150 SG 255 BL	40 SMA 3000 190 BSM 200 SG 270 BL	30 SMA 3000 40 ABB 3000 250 BSM 200 SG 220 BL

1) Som materiale til ubundet bærelag og bundsikringslag kan anvendes egnede genbrugsmaterialer, såfremt materialernes E-værdi som minimum er den samme eller højere end E-værdierne for hhv. SG og BL.
2) Tykkelsen er mindre end de generelt anbefalede minimumslagtykkelser, men er erfaringsmæssigt tilstrækkelig.
3) Traditionelt anbefales AB 2000 hhv. AB 3000 for trafikklasse T4-T5 hhv. T5. Her er vist AB 2000 og AB 3000 for opnåelse af tilstrækkelig bæreevne.

Figur 8.3 Befæstelser med bitumenstabiliseret materiale for 20 års trafik på frosttvivlsom underbund (40MPa) for trafikklasse T0-T5. Hvor der er angivet SG, er det tilstrækkeligt at anvende SG II og hvor der er angivet BL, er det tilstrækkeligt at anvende BL I eller BL II med U ≤ 3.

9 BILAG

9.1 Bilag 1

Asfaltmaterialer jf. Figur 6.2		Bindemiddel-betegnelse	Anbefalet interval for lagtykkelse [mm]	Interval for trafik	
				[$N_{Æ10}$/døgn]	Trafikklasse
Slidlag	OB 500	Alle typer	10-15	0-500	T0-T5
	TB k 1000	160/220 100/150	20-25 20-25	21-200 21-500	T3-T4 T4
	TB k 1500	70/100	20-25	51-500	T4-T5
	TB k 2500	40/60 Modificeret	20-25 20-25	501-800 501-800	T6 T6
	PA 500	330/440 250/330	15-35 15-35	0-20 0-200	T0-T2 T0-T3
	AB 1000	160/220	20-40	0-200	T0-T4
	AB 1500	100/150	25-40	51-200	T4
	AB 2000	70/100	25-40	51-500	T4-T5
	AB 3000	40/60	30-40	201-500	T5
	SMA 1000	160/220	20-30	0-50	T0-T3
	SMA 1500	100/150	20-30	0-50	T0-T3
	SMA 2000	70/100	20-35	0-200	T0-T4
	SMA 3000	40/60 Modificeret	20-40 25-40	0-800 ≥501	T0-T6 T6-T7
	SFB 8000	160/220 70/100	30-80 30-80	≥0 ≥0	T0-T7 T0-T7
Kombilag	KBL 500	250/330	40-65	0-200	T0-T4
	KBL 1000	160/220	40-65	0-200	T0-T4
	KBL 1500	100/150	40-65	0-200	T0-T4
	KBL 2000	70/100	40-65	0-200	T0-T4
Bindelag	ABB 3000	40/60 Modificeret	40-85 40-85	201-500 ≥201	T5 T5-T7
Bærelag	GAB 0 2000	70/100	40-65	0-200	T0-T4
	GAB 0 3000	40/60	45-70	51-200	T4
	GAB I 2000	70/100	50-100	0-200	T0-T4
	GAB I 3000	40/60	60-110	51-500	T4-T5
	GAB II 3000	40/60	80-180	≥51	T4-T7

Vejdirektoratet

Niels Juels Gade 13
Postboks 9018
1022 København K
Telefon 7244 3333

vd@vd.dk
vejdirektoratet.dk

vejregler@vd.dk
vejregler.dk

EAN: 978-87-94158-79-4

Transport-, Bygnings- og Boligministeriet