

# Betonbelægninger

- anvendelse, udførelse og vedligeholdelse af belægninger, trapper og støttemure

Udgiver:  
Belægningsgruppen, Dansk Beton.

1. udgave, 1. oplag 5.000 stk. 2001.
2. udgave, 1. oplag 5.000 stk. 2007.
3. udgave, digital udgivelse, 2012.
4. udgave, 1. oplag 500 stk. 2014.

Udarbejdet af:  
Belægningsgruppen, Dansk Beton.

Gengivelse af bogen eller dele af bogen er kun tilladt med tydelig angivelse af kilde. Illustrationer må kun bringes sammen med tilhørende tekst, såsom figurtekst og anden relevant tekst fra denne bog.

Der tages forbehold for trykfejl.

# Forord

Denne håndbog giver en bred information om betonsten og -fliser. Her bliver givet gode råd til valg af stentyper, læggemønstre med videre. Håndbogen er desuden en vejledning i projektering og udførelse af trafikbelastede veje, pladser og stier med betonsten og -fliser. Håndbogen er baseret på teoretisk viden, praktiske erfaringer med betonsten og -fliser, samt de nyeste normer og standarder.

Formålet er, at man ved hjælp af denne håndbog skal kunne udføre holdbare befæstelser og undgå skader og fejl på belægningen.

Håndbogen henvender sig ikke kun til læsere der er fortrolige med vejbygning, men forudsætter dog en vis teknisk indsigt. Hører man ikke til førstnævnte kategori anbefales det altid, at man søger kompetent rådgivning indenfor området inden påbegyndelse af et projekt.

Bagerst i håndbogen findes en ordforklaring samt en litteraturliste. Der er løbende henvist til relevante vejregler og anden litteratur. Disse henvisninger er angivet med "bogens titel", de resterende oplysninger findes i litteraturlisten.

Det er Belægningsgruppens håb, at håndbogen vil blive brugt af byggeriets parter.

Denne udgave af håndbog er tilgængelig på Belægningsgruppens hjemmeside, [www.betonsten.dk](http://www.betonsten.dk), hvor der også findes forskelligt andet materiale, udarbejdet af Belægningsgruppen.

Der tages forbehold for trykfejl. Materiale, herunder nye standarder og lignende udsendt efter den 5. juni 2014 (ved redaktionens afslutning) har det ikke været muligt at tage hensyn til.

5/6-2014

Belægningsgruppen, Dansk Beton

--	--

# Indholdsfortegnelse

1	Betonbelægninger i Danmark .....	9
2	Anvendelse og egenskaber .....	11
2.1	Anvendelsesområder.....	13
2.1.1	Veje .....	13
2.1.1.1	Trafikregulering med betonsten og -fliser ...	14
2.1.2	Torve og pladser .....	15
2.1.3	Industriarealer, havne med videre .....	16
2.1.4	Indkørsler, terrasser og parker .....	17
2.2	Belægningstyper og kantbegrænsning .....	19
2.2.1	Stentyper .....	19
2.2.2	Overfladestruktur og farver .....	19
2.2.3	Læggemønstre .....	20
2.2.4	Belægningssystemer.....	21
2.2.5	Græsarmeringssten .....	22
2.2.6	Øko-sten.....	23
2.2.7	Kantsten.....	24
2.2.8	Støttemure og trapper .....	25
2.3	Lys-, lyd-, og friktionsegenskaber.....	27
2.3.1	Lysegenskaber .....	27
2.3.2	Lydegenskaber .....	28
2.3.3	Friktionsegenskaber .....	29
2.4	Fugens funktioner .....	31
2.4.1	Overførelse af belastninger .....	31
2.4.2	Forhindring af kantafskalning .....	32
2.4.3	Tætning af belægningen .....	33
2.4.4	Sikring af læggemønster .....	35
2.4.5	Optagelse af formvariationer.....	36
2.5	Fremstilling af betonsten og -fliser .....	37
2.5.1	Betonvarefabrikken .....	38
2.5.1.1	Betonvarefabrikkerne er miljøvenlige .....	39
2.6	Betonens natur og bestanddele.....	41
2.6.1	Fremstilling af cement .....	41
2.6.2	Fremstilling af beton .....	41
2.6.3	Betonens overflade og struktur .....	43
2.6.3.1	Åbne og lukkede overflader .....	44
2.6.3.2	Huller i overfladen .....	45
2.6.3.3	Kalkspringere .....	46
2.6.3.4	Støbe- og håndteringsfejl.....	46
2.6.3.5	Betons porestruktur.....	47
2.6.3.6	Porestruktur og algevækst.....	47
2.6.4	Betonens farve .....	48
2.6.4.1	Farveændringer .....	48
2.6.4.2	Farveforskelle .....	49
2.6.5	Udfældninger.....	49
2.6.5.1	Jernudfældninger.....	49
2.6.5.2	Alkalikiselreaktioner .....	49
2.7	Levetid .....	51
2.7.1	Betons levetid .....	51
2.7.2	Levetid for befæstelse .....	51
2.7.2.1	Dimensionering .....	52
2.7.2.2	Udførsel.....	52
2.7.2.3	Vedligeholdelse .....	52
2.8	Miljødata .....	53
2.8.1	Livscyklusanalyser .....	53
2.9	Produktstandarder og kvalitetssikring .....	57

	2.9.1	Krav til betonsten .....	58
	2.9.2	Krav til betonfliser.....	59
	2.9.3	Krav til betonkantsten .....	60
	2.9.4	Mål/byggemål .....	61
	2.9.5	Produktmærkning .....	61
	2.9.6	Kvalitetssikring/kontrolordning .....	61
3		Dimensionering, projektering og udførelse .....	63
	3.1	Vejregler, normer, standarder og vejledninger .....	65
	3.2	Afvanding af belægningen .....	67
	3.3	Dimensionering af befæstelser .....	69
	3.3.1	Arealer uden trafikbelastning.....	69
	3.3.2	Forsøg og erfaringer med trafikbelastede arealer ..	70
	3.3.3	Trafikbelastede arealer .....	74
	3.3.3.1	Trafikklasser, underbund med videre.....	74
	3.3.3.2	Materialeparametre for betonsten.....	75
	3.3.3.3	Opbygning af befæstelser .....	76
	3.3.3.4	Trafikbelastede arealer med betonfliser.....	78
	3.4	Projektering og udførelse af trafikerede befæstelser .....	79
	3.4.1	Underbunden .....	79
	3.4.2	Bundsikringslag .....	81
	3.4.3	Bærelag .....	82
	3.4.3.1	Ubundne lag .....	82
	3.4.3.2	Bundne bærelag .....	83
	3.4.3.3	Bærelag af knust beton, asfalt og tegl.....	84
	3.4.3.4	Sættemateriale til kantsten med videre. ..	85
	3.4.4	Betonstenslag .....	86
	3.4.4.1	Afretningslag.....	86
	3.4.4.3	Fuger .....	92
	3.4.4.4	Kvalitetssikring af udførelsen .....	95
	3.4.5	Betonfliselag.....	98
	3.4.6	Kantsikring.....	99
	3.4.6.1	Buede tværprofiler .....	99
	3.4.6.2	Sætning af kantsten .....	100
	3.5	Projektering og udførelse af trapper .....	103
	3.5.1	Projektering .....	103
	3.5.1.1	Vand og frostskeer.....	103
	3.5.1.2	Trappens komponenter .....	104
	3.5.1.3	Opbygning af underbunden .....	105
	3.5.2	Betonstenstrappe .....	105
	3.5.2.1	Sætning i beton .....	105
	3.5.2.2	Kantsikring .....	106
	3.5.2.3	Placering af stenene .....	106
	3.5.3	Elementtrappe .....	107
	3.5.3.1	Afretning og komprimering.....	107
	3.5.3.2	Kantsikring .....	108
	3.6	Projektering og udførelse af støtte- og støjmure .....	109
	3.6.1	Støttemure og støjmure .....	109
	3.6.1.1	Støttemures virkemåde .....	110
	3.6.1.2	Støjmures virkemåde.....	110
	3.6.1.3	Bæreevnekurver.....	111
	3.6.2	Opbygning af støttemure .....	111
	3.6.3	Opbygning af støjmure .....	113
	3.7	Vakuumløfteudstyr .....	115
	3.7.1	Materiel og betonfliser .....	115
	3.7.1.1	Maskintyper .....	115
	3.7.1.2	Turbine kontra vacuumpumpe.....	115
	3.7.1.3	Betonfliser - porøsitet.....	116
	3.7.2	Valg af maskine .....	116

3.7.2.1	Luftflow .....	116
3.7.2.2	Turbine eller pumpe .....	116
3.7.2.3	Nyttige reservedele .....	116
3.7.3	Når fliserne ikke kan løftes .....	118
3.7.3.1	Fejl på maskinen .....	118
3.7.3.2	Porøse fliser .....	118
3.8	Permeable belægninger .....	119
3.8.1	Formål .....	119
3.8.1.1	Fordele ved permeable belægninger .....	119
3.8.1.2	Belægningstyper .....	119
3.8.1.3	Vandkvalitet.....	119
3.8.2	Forudsætninger og virkemåde .....	120
3.8.2.1	Tre typer opbygninger.....	120
3.8.2.2	Dimensionsgivende regnskyl.....	121
3.8.3	Forundersøgelser .....	123
3.8.3.1	Vandindvindingszoner.....	123
3.8.3.2	Anvendelse af arealet .....	123
3.8.3.3	Trafikmængde .....	123
3.8.3.4	Afstand til bygninger .....	123
3.8.3.5	Afstand til grundvandspejl.....	123
3.8.3.6	Tykkelse af permeable lag.....	123
3.8.3.7	Kontrol af nedsivningsevne .....	123
3.8.4	Dimensionering og projektering.....	124
3.8.4.1	Bærelag og bundsikring.....	124
3.8.4.2	Fuger og afretningslag .....	125
3.8.4.3	Nødvendigt magasinvolumen .....	125
3.8.5	Udførelse .....	126
3.8.5.1	Underbunden.....	126
3.8.5.2	Bærelag.....	126
3.8.5.3	Afretningslag .....	127
3.8.5.4	Betonstenslag.....	127
3.8.6	Opretholdelse af nedsivningsevne .....	128
3.8.6.1	Efterfyldning af fuger.....	128
3.8.6.2	Rensning af fuger .....	128
3.8.6.3	Glatførebekæmpelse .....	128
4	Drift og vedligeholdelse .....	129
4.1	Vejregler, normer, standarder og vejledninger .....	131
4.2	Renholdelse.....	133
4.2.1	Alger og anden bevoksning.....	134
4.3	Kalkulfældninger.....	137
4.3.1	Dannelse af kalkulfældninger.....	137
4.3.1.1	Kalkulfældninger skader ikke beton .....	137
4.3.2	Begrænsning af kalkulfældninger .....	138
4.3.2.1	Kalkulfældninger kan opstå før levering...138	
4.3.2.2	Modtagekontrol .....	138
4.3.2.3	Korrekt udlægning og projektering.....	139
4.3.2.4	Renholdelse .....	139
4.3.2.5	Opbevar ikke materialer på belægningen .139	
4.3.2.6	Fej belægningen ren efter fugning.....	140
4.3.3	Kalkulfældninger forsvinder med tiden .....	140
4.3.3.1	Fjernelse af kalkulfældninger .....	140
4.4	Ukrudtsbekæmpelse .....	143
4.4.1	Forbyggelse af ukrudtsvækst .....	143
4.4.2	Bekæmpelse af ukrudt .....	144
4.5	Vedligeholdelse af fuger og kanter .....	147
4.5.1	Vedligeholdelse af fuger.....	147
4.5.2	Vedligeholdelse af kanter .....	147
4.6	Reparationer og retablering.....	149

4.6.1 Opgravning i belægningen.....	149
4.6.2 Retablering af befæstelsen.....	150
4.6.3 Lunker og sporkøring.....	151
4.7 Vintervedligeholdelse.....	153
Ordforklaringer.....	155
Litteraturliste.....	159
Stikordsregister.....	161



# 1 Betonbelægninger i Danmark

## Betonbelægningens historie

Betonsten har været benyttet i mere end hundrede år som belægning på veje, pladser med videre.

Efter 2. Verdenskrig kom der for alvor gang i brugen af betonsten. I blandt andet Holland var der tidligere blevet benyttet teglsten, men på grund af den øgede efterspørgsel på disse til genopbygning af huse efter krigen, valgte man at benytte betonsten på vejene. I Tyskland voksede brugen af betonsten ligeledes hurtigt og her begyndte man at udvikle stenene. Som resultat heraf blev den første sten med låse-virkning introduceret i midten af 50'erne.



Figur 1.1. Billede fra 1920, hvor støbning af betonfliser var håndarbejde. Dette stillede store krav til den enkelte person, hvis kvaliteten skulle være god.

I dag findes der flere hundrede forskellige former for betonsten og -fliser og udover udviklingen af forskellige former, fremstilles betonsten og -fliser også i et væld af forskellige farver og med forskellige former for overfladebehandling.

I Danmark er der også sket en væsentlig udvikling med hensyn til produktion og kvalitet. Fra at være håndarbejde blev produktionen industrialiseret, og der blev i stigende grad ført en omfattende kontrol med produkterne. Således bliver der i dag leveret en høj og ensartet kvalitet fra fabrikkerne.

Høj og ensartet kvalitet



Figur 2.2. Eksempel på brugen af betonsten og specialfliser i en bymidte. (Skagen)

## Belægningsgruppen

Belægningsgruppen er en af fem produktgrupper under Dansk Beton, som er en sammenslutning af betonvare-, betonelement- og færdigbetonproducenter. Gruppens medlemmer fremstiller et bredt sortiment indenfor betonsten og -fliser samt en lang række supplerende betonprodukter, eksempelvis støttemursblokke, kantsten, trappetrin samt park- og gadeudstyr.

Belægningsgruppen varetager fabrikernes fællesinteresser, og beskæftiger sig bl.a med fælles tekniske og markedsføringsmæssige forhold som f.eks.

- At informere om brugen af Belægningsgruppens produkter
- At fremme den enkelte virksomheds evne til at styre kvaliteten
- At deltage i udarbejdelsen af normer og standarder.

Alle fabrikker i Belægningsgruppen er tilsluttet en offentlig anerkendt kontrolordning eller et certificeringsorgan, der er akkrediteret til produktcertificering.

Kontrolordning og  
certificeringsorgan

# 2 Anvendelse og egenskaber

## Indhold:

- 2.1 Anvendelsesområder
  - 2.1.1 Veje
  - 2.1.2 Torve og pladser
  - 2.1.3 Industriarealer, havne med videre
  - 2.1.4 Indkørsler, terrasser og parker
- 2.2 Belægningstyper og kantbegrænsning
  - 2.2.1 Stentyper
  - 2.2.2 Overfladestruktur og farver
  - 2.2.3 Læggemønstre
  - 2.2.4 Belægningssystemer
  - 2.2.5 Græsarmeringssten
  - 2.2.6 Øko-sten
  - 2.2.7 Kantsten
  - 2.2.8 Støttmure og trapper
- 2.3 Lys-, lyd-, og friktionsegenskaber
  - 2.3.1 Lysegenskaber
  - 2.3.2 Lydegenskaber
  - 2.3.3 Friktionsegenskaber
- 2.4 Fugens funktioner
  - 2.4.1 Overførelse af belastninger
  - 2.4.2 Forhindring af kantafskalning
  - 2.4.3 Tætning af belægningen
  - 2.4.4 Sikring af læggemønstre
  - 2.4.5 Optagelse af formvariationer
- 2.5 Fremstilling af betonsten og -fliser
  - 2.5.1 Betonvarefabrikken
- 2.6 Betonens natur og bestanddele
  - 2.6.1 Fremstilling af cement
  - 2.6.2 Fremstilling af beton
  - 2.6.3 Betonens overflade og struktur
  - 2.6.4 Betonens farve
- 2.7 Levetid
  - 2.7.1 Betons levetid
  - 2.7.2 Levetid for befæstelse
- 2.8 Miljødata
  - 2.8.1 Livscyklusanalyser
- 2.9 Produktstandarder og kvalitetssikring
  - 2.9.1 Krav til betonsten
  - 2.9.2 Krav til betonfliser
  - 2.9.3 Krav til betonkantsten
  - 2.9.4 Mål/byggemål
  - 2.9.5 Produktmærkning
  - 2.9.6 Kvalitetssikring/kontrolordning

## 2 Anvendelse og egenskaber

Betonsten, -fliser og -kantsten er alsidige produkter, der finder anvendelse mange forskellige steder. Det er ofte vidt forskellige egenskaber der lægges vægt på, afhængig af hvor produkterne skal benyttes. Nogle steder er det overvejende af æstetiske hensyn, at der vælges betonsten eller -fliser, mens det i andre situationer vil være de rent tekniske egenskaber, der er afgørende.

## 2.1 Anvendelsesområder

Betonsten og -fliser kan anvendes som belægning stort set overalt. Nedenfor er listet nogle eksempler på belægninger hvor der ofte anvendes betonsten og -fliser:

veje	cykelstier	fortove
bygader	containerpladser	garager
havne	industripladser	indkørsler
lufthavne	rundkørsler	parkeringspladser
rastepladser	stilleveje	indendørsarealer
terrasser	torve	udenomsarealer.

Der anvendes årligt ca. 10 millioner m<sup>2</sup> betonsten og -fliser her i landet.

### 2.1.1 Veje

Tidligere var asfalt den altdominerende belægning på vejene. I de senere år er det imidlertid blevet mere almindeligt at erstatte asfalten med betonsten og -fliser. Især på boligveje, bygader og lignende anvendes der oftere betonsten og -fliser. Der findes i dag mange forskellige typer betonsten og -fliser. Variation i farver, former og overflader giver både tekniske og æstetiske muligheder for at skabe målrettede løsninger.



Figur 2.1. Betonsten og -fliser er også meget velegnede til almindelige veje. Her en nyanlagt adgangsvej til en industrivirksomhed.

I Danmark anvendes årligt ca. 10 millioner m<sup>2</sup> betonsten og -fliser

### 2.1.1.1 Trafikregulering med betonsten og -fliser

Signaler og informationer, der fortæller hvor biler, cyklister og gående skal færdes, hvem der skal holde tilbage og hvilken type vej man færdes på, kan "indbygges" i belægningen ved hjælp af skift i farve og overflade. Ændringer i overfladen kan også benyttes til vejledning af svagtseende og blinde, eksempelvis ved brug af sten med "knopper" på overfladen. Disse løsninger er i dag er meget anvendt i tæt-lav bebyggelse og i bymidter, hvor man samtidig kan glæde sig over meget smukkere veje.

I by- og boligområder byder det på særlige udfordringer, at etablere en effektiv og sikker trafikregulering, idet trafikken her typisk er en blanding af "hårde" trafikanter som biler, busser og lastbiler og "bløde" trafikanter som fodgængere og cyklister.



Figur 2.2. Adskillelse af biler, cyklister og gående kan ske smukt og effektivt med betonsten i forskellige farver og varierende overflader. (Allerød).

Informationer indbygges i belægningen

Miljøprioriterede gennemfarer

Forsætninger af vejens forløb

#### Når trafikanterne adskilles

I forbindelse med veje med forholdsvis megen trafik og/eller høj hastighed vil man ofte vælge at skabe en skarp adskillelse af "bløde" og "hårde" trafikanter.

Et typisk eksempel på denne adskillelse er de såkaldt miljøprioriterede gennemfarer, der etableres, hvor større, stærkt trafikerede landeveje skærer igennem mindre byer. Her er hovedformålet dobbelt, nemlig både at sænke hastigheden og at adskille "bløde" trafikante fra "hårde" trafikanter for totalt at mindske antallet af ulykker med personskaade. På stamvejen i et boligområde kan det også være nødvendigt at skabe en effektiv adskillelse af biler, cyklister og gående, for at sikre en rationel afvikling af biltrafikken, samtidig med at de "bløde" trafikanter (typisk skolebørn) kan færdes trygt og sikkert.

#### Fartdæpende foranstaltninger

Når trafikmængden eller hastigheden taler for en adskillelse af cyklister, fodgængere og biler, vil fartdæpende foranstaltninger, såsom forsætninger af vejens forløb, rundkørsler og lignende, ofte være påkrævet. Som udgangspunkt er det naturligvis væsentligt, at vejen er udformet, således at bilisterne "automatisk" vælger den rette hastighed og også her kan betonsten og -fliser have en afgørende rolle. At køre fra asfalt ind på en vejstrækning med betonsten og -fliser har generelt en dæpende effekt på hastigheden. Dette skyldes dels den visuelle signalværdi i den ændrede belægning og dels at lyden inde i bilen ændrer sig markant.

### Når trafikanterne blandes

Ved mindre boligveje og i bymidter vælger man ofte at blande "bløde" og "hårde" trafikanter.

Udgangspunktet er typisk, at hastigheden er tilpas lav og at biltrafikken ønskes begrænset mest muligt. Derfor anlægges vejene, så trafikken afvikles med størst hensyntagen til de gåendes og cyklendes vilkår. Det kan altså beskrives som gågader, hvor bilkørsel er tilladt.

Betonsten og -fliser er indlysende velegnede, når der etableres veje uden skarp adskillelse af fodgængere, cyklister og biler. Ved at udnytte mulighederne med forskellige farver, former eller overflader, er det let at etablere en synlig, men ikke bastant adskillelse, der som helhedsløsning oven i købet giver et smukt resultat. Betonsten og -fliser signalerer også her en "usædvanlig" vej, og skærper derved bilisternes opmærksomhed omkring hastigheden.



Figur 2.3. Med kørebane og fortov i samme niveau har man med et bånd af chaussésten som markering skabt en mellemtning mellem at adskille og blande biler, cykler og gående i denne bymidte.

### 2.1.2 Torve og pladser

På torve og pladser har betonsten og ikke mindst betonfliser været benyttet igennem mange år. Med betonprodukterne er der mulighed for at skabe individuelle løsninger med et højt æstetisk niveau.



Figur 2.4. Der er en lang tradition for at benytte betonsten og -fliser på torve og pladser. Her er vejen en smuk og integreret del af torvet. (Kjellerup).

Æstetiske løsninger



Figur 2.5. Det er let at skabe lyse og venlige miljøer med betonsten og -fliser. (Esbjerg).

På parkeringspladser er betonsten og -fliser også blevet meget anvendt. Her benyttes normalt to stentyper eller farver, for på den måde at afmærke de enkelte båse.

### 2.1.3 Industriarealer, havne med videre

Den udbredte anvendelse af betonsten på industriarealer, lufthavne (standpladser), containerpladser, fragtcentraler og busterminaler med videre skyldes hovedsageligt de rent tekniske fordele:

- Slidstærk belægning
- Tåler store koncentrerede laster fra f.eks. containere og fly
- Tåler store vridende påvirkninger fra trucks, lastbiler og fly
- Modstandsdygtig overfor benzin, olie, salt, frost-tø med videre
- Bæreevnen mindskes ikke i varmt vejr.

Dette er egenskaber, der kun vanskeligt kan opnås med andre belægninger og i så fald typisk til en højere pris.



Figur 2.6. Betonsten er meget velegnet til at optage store hjultryk fra eksempelvis fly som kan have et hjultryk på op til 40 ton.

Betonsten tåler store koncentrerede laster og vridende påvirkninger



På containerpladser kommer betonstens egenskaber virkelig frem. Her er der store statiske koncentrerede laster fra containerne, samt store hjultryk og vridende påvirkninger fra trucks med op til 100 tons akseltryk.



Figur 2.7. På containerpladser bliver betonstenenes gode tekniske egenskaber godt udnyttet. (Foto: Kirsten Bruun, Aarhus Havn)

## 2.1.4 Indkørsler, terrasser og parker

Betonsten og -fliser har i mange år været det foretrukne valg til indkørsler, terrasser, parkanlæg med videre. Dette skyldes både, at der kan laves meget individuelle og smukke løsninger, men også, at der ikke kræves store maskiner til udlægningen.

Da stenene er forholdsvis enkle at lægge, er der også blevet lavet mange "gør-det-selv" indkørsler eller terrasser. Pladevibrator og fliseskærer/-klipper vil normalt kunne lejes hos enten producenten eller forhandleren.



Figur 2.8. Betonsten og -fliser benyttes ofte til stier, gårdmiljøer, pladser i parkanlæg og lignende.

## 2 Anvendelse og egenskaber

Førnævnte, samt det rige udbud af farver, former og overflader, har været med til at gøre betonsten til et populært produkt til disse områder, både ved nybyggeri og til ældre huse.



Betonbelægninger passer til både nyt og gammelt



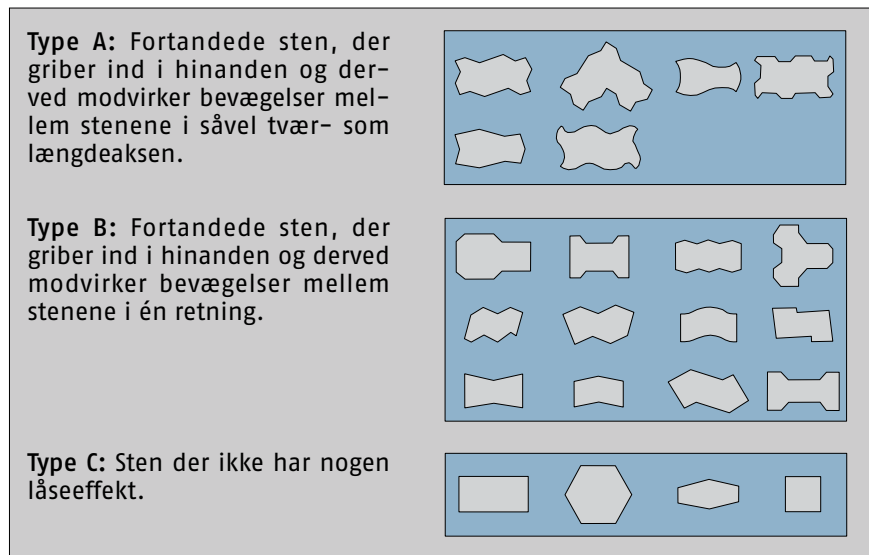
*Figur 2.9. Betonsten er meget anvendt til terrasser og indkørsler, og ved det rette valg af farve og type, kan stenene passe til såvel nyt som gammelt byggeri.*

## 2.2 Belægningstyper og kantbegrænsning

Der findes i dag et utal af forskellige typer betonsten og -fliser, og det vil derfor være uoverkommeligt at gennemgå dem alle sammen her. I stedet henvises til omfattende katalogmateriale fra producenterne. Det følgende er derfor blot eksempler på de mange forskellige typer, former med videre, der findes.

### 2.2.1 Stentyper

På verdensplan eksisterer der flere hundrede forskellige udformninger. I nedenstående figur ses et lille udpluk af de stentyper der anvendes herhjemme. Opdelingen i typerne A, B og C benyttes bl.a. i "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger". Valget af stenform bør ikke kun baseres på udseende, men også hvilke belastninger belægningen vil blive udsat for, se mere i afsnit "3.3 Dimensionering af befæstelser".



Figur 2.10. Det viste er blot et udpluk af de stenformer der eksisterer. På verdensplan findes der flere hundrede forskellige stenformer.

### 2.2.2 Overfladestruktur og farver

Udover den almindelige betonoverflade, kan betonsten og -fliser fås med mange forskellige former for overfladebehandling, eksempelvis frilagte sten, slebet overflade eller kugleblæst overflade. En anden meget populær efterbehandling af stenene er rumbling, hvor stenene efterbehandles, så de får et mere rustikt udseende.

Med hensyn til farver er der også et rigt udvalg. Udover den almindelige betongrå, er de mest anvendte farver sort, hvid, rød, brun og gul i forskellige nuancer og som farvemix.

Låsevirkning

Efterbehandling

Farvemix



Figur 2.11. Et eksempel på efterbehandlede sten er betonsten med slåede kanter. Disse får et mere rustikt udseende.



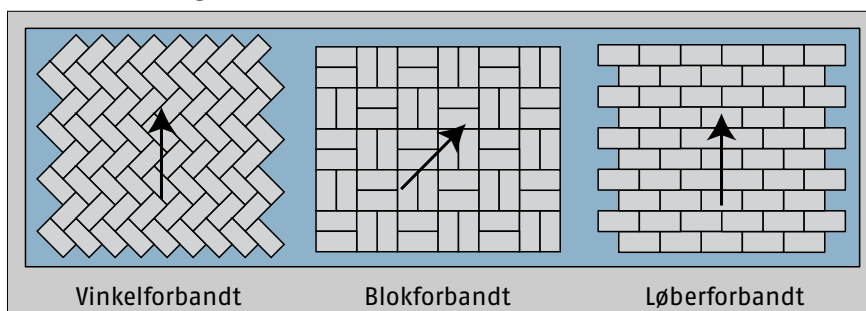
Figur 2.12. Betonsten og -fliser leveres i mange forskellige farver og nuancer, og med forskellige former efterbehandling.

### 2.2.3 Læggemønstre

Der er mange forskellige muligheder med hensyn til læggemønstre. Det er dog forskelligt fra stentype til stentype hvilke mønstre der er mulighed for at vælge. Endvidere er der også forskel på hvor gode de forskellige mønstre er til at modstå påvirkninger fra trafik. For flere stentyper/mønstre afhænger disse egenskaber af stenenes orientering i forhold til trafikken.

De mest anvendte læggemønstre er vinkelforbandt (sildebensmønster), blokforbandt og løberforbandt.

Optimal kørselsretning



Figur 2.13. De rektangulære stentyper lægges normalt i et af de viste læggemønstre. Pilene angiver den optimale kørselsretning.

Det mest effektive af disse mønstre er vinkelforbandtet, herefter kommer blokforbandtet og til sidst løberforbandtet. Med mest effektive menes der det mønster hvor trafikken, alt andet lige, giver færrest deformationer, eksempelvis sporkøring.

Vinkelforbandtet er det læggemønster der er mindst følsomt med hensyn til hvilken retning trafikken kører i. For løberforbandtets vedkommende er det vigtigt, at trafikken kører på tværs af de gennemgående fuger. For flere af de låsende sten med mere komplicerede former, er valgmulighederne dog begrænsede. Flere af disse sten kan kun lægges i ét bestemt mønster. For de sten, hvor der er flere muligheder for læggemønster, bør der, ved trafikbelastede arealer, vælges det belastningsmæssigt mest optimale mønster, jf. ovenstående.

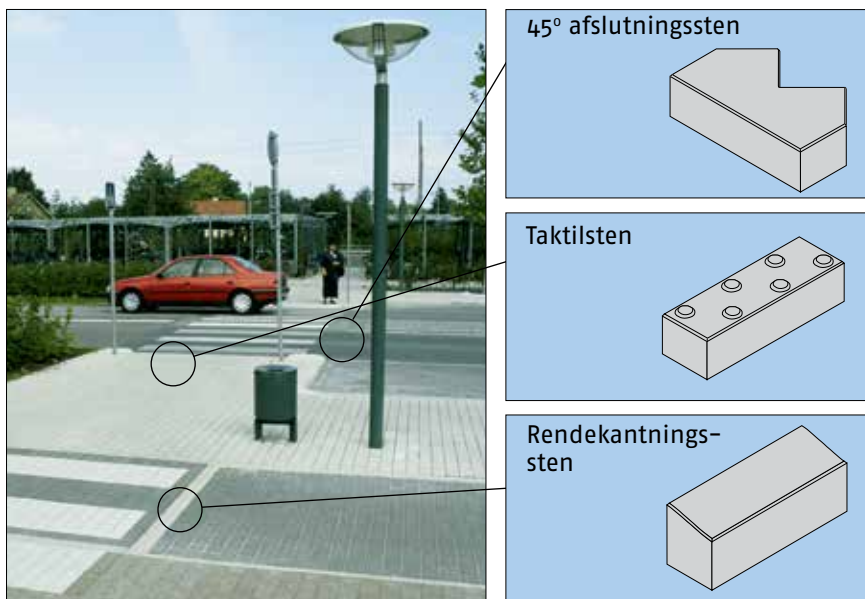
Er der kun begrænset trafik på arealet, kan læggemønsteret i højere grad vælges ud fra det æstetiske indtryk.

Vinkelforbandtet er mest effektivt

## 2.2.4 Belægningssystemer

Der er med tiden blevet udviklet flere mere eller mindre omfattende belægningssystemer lige fra systemer med sten og tilhørende randsten, til komplette systemer med specialelementer til pullerter, fodgængerovergange, specielle sten og riste til indramning af beplantning, specielle kantsten osv.

Komplette systemer



Figur 2.14. Eksempel på nogle specialelementer til et af de mere omfattende systemer. Taktilsten benyttes som hjælp til blinde og svagtseende.

I de seneste år er der også sket en stor udvikling indenfor sten til torve, terrasser med videre. Her anvendes ofte sten i forskellige farver, former, overflader og størrelser, der kan lægges i meget dekorative mønstre. Systemer med mange specialelementer er selvfølgelig dyrere i indkøb, men har den fordel, at der kan laves løsninger med mange spændende detaljer, og ofte med mindre tilpasningsarbejde.



Figur 2.15. De sydlandsk-inspirerede belægningsystemer adskiller sig markant fra de betonsten og -fliser der normalt benyttes.

### 2.2.5 Græsarmeringssten

Græsarmeringssten er, som ordet siger, sten til armering/forstærkning af græsarealer. De benyttes typisk på parkeringsarealer, brandveje og lignende, hvor trafikbelastningen er begrænset og det ønskes, at arealet er grønt, men hvor det er nødvendigt, at det er farbart i alt slags vejr. Stenene er enten forsynet med huller eller lægges med brede fuger, så det er muligt at så græs. Græsarealet kan udgøre op til 75 % af det samlede areal.

Flere græsarmeringssten er ikke egentlige sten men nærmere større plader.



Figur 2.16. Græsarmeringssten er enten sten med en bred fuge, eller større plader med huller.

Græsarmeringssten må imidlertid ikke forveksles med øko-sten der dræner vand væk fra belægningen, se næste afsnit. Græsarmeringssten kan opmagasinere en vis mængde vand, der så senere fordamper, men mængden af vand der drænes videre ned i underbunden er forsvindende lille. Dette skyldes, at fugen fyldes med en blanding af sand og muld, og tilså med græs, hvorved evnen til at dræne vand stort set er væk. Det anbefales dog, at anvende grus med meget lidt finstof til afretningslaget.

Emnet vil ikke blive behandlet nærmere i denne håndbog, men flere oplysninger kan fås ved henvendelse til producenterne.

Græsareal op til 75%

Græsarmeringssten nedsiver ikke vand!



Figur 2.17. Græsarmeringssten benyttes ofte på parkeringsarealer.

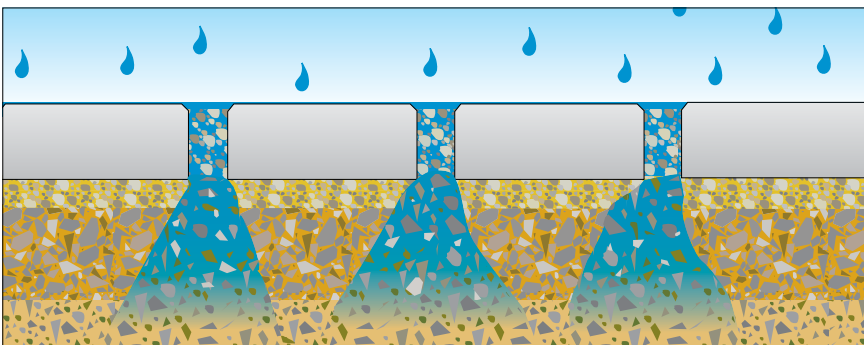
## 2.2.6 Øko-sten

Formålet med øko-sten er at nedsive regnvand, i stedet for at aflede det til kloakken som normalt. Ved råjord, der ikke er egnet til nedsivning, kan en befæstelse med øko-sten anvendes som regnvandsbassin, der forsinker tilledningen til kloakken.

Efter de senere års oversvømmelser, er der kommet meget fokus på lokal håndtering af regnvand. Flere og flere arealer befæstes, hvilket medfører, at mere og mere regnvand ledes til kloakken. Det bevirker, at nogle kloakker løber over når det regner. Tilledningen til kloakken kan imidlertid reduceres ved at anvende øko-sten, og ved nyanlæg kan der eventuelt spares på udgifterne til kloakanlæg og der kan være mulighed for mindre tilslutningsbidrag eller tilbagebetaling af en del af tilslutningsbidraget.

Øko-sten og græsarmeringssten forveksles som nævnt ofte, men der er tale om to vidt forskellige typer belægning. Til forskel for græsarmeringssten lægges øko-sten med en bred fuge, der fyldes med et meget groft/enskornet materiale, for derved at kunne dræne overfladevand væk.

I Danmark er øko-sten først nu ved at blive udbredt, men i bl.a. Tyskland er de meget anvendt og her lægges årligt ca. 5 millioner m<sup>2</sup>. Det skyldes blandt andet, at afløbsafgiften i Tyskland sænkes, hvis regnvandet nedsives på egen grund. På større pladser kan der derfor være tale om anseelige beløb.



Figur 2.18. Øko-sten lægges med brede fuger med forholdsvis groft og enskornet materiale i både fuger, afretningslag og bærelag. Vandet kan derved transporteres ned gennem befæstelsen uden at den bliver vandmættet og derved mister sin bæreevne.

Reducering af regnvands-  
tilledning til kloakken

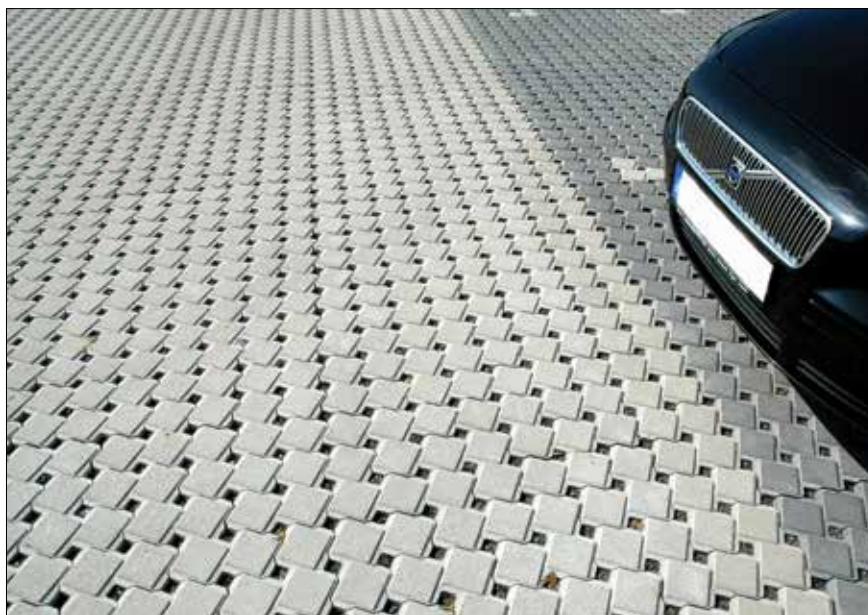
Øko-sten nedsiver  
vandet fra belægningen

### Krav til etablering af permeable belægninger

Der er flere forudsætninger der skal være opfyldt for at kunne anvende øko-sten:

- Anvendes kun hvor der er lav trafikbelastning dvs. lager- og parkeringspladser, boligveje, stier og fodgængerarealer.
- Anvendes ikke ved vandindvindingszoner, hvis vandet skal ned-sives.
- Anvendes ikke på områder hvor der opbevares/anvendes miljø-skadelige stoffer.

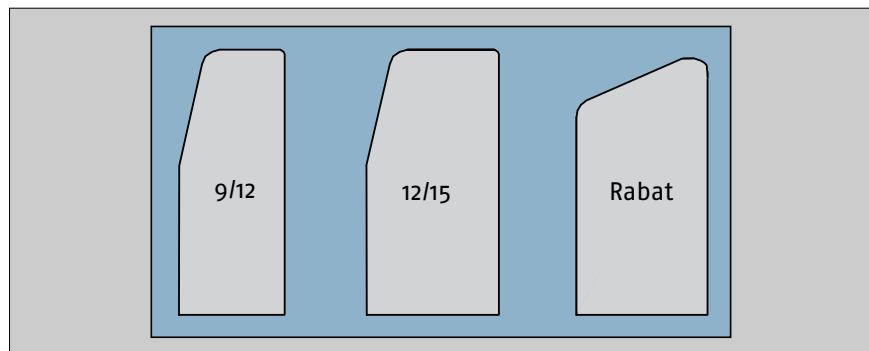
Opbygningen af befæstelser med øko-sten er anderledes end for almindelige betonsten og -fliser. Emnet vil blive behandlet nærmere i et særskilt afsnit i denne håndbog.



Figur 2.19. Parkeringsplads med øko-sten.

### 2.2.7 Kantsten

De tre mest anvendte kantstenstyper ses i figuren nedenfor. Disse leveres også som radiuskantsten. Derudover findes der mange forskellige specialkantsten, f.eks. dykkere, som anvendes ved overkørsler, limkantsten, kantsten med hvid overflade, m.fl.



Figur 2.20. Tværsnit af tre almindelige kantstenstyper.



## 2.2.8 Støttemure og trapper

Hvor der er forskelle i terrænhøjde, kan der opstilles støttemure. Det primære formål er at holde jorden på plads, men en støttemur kan samtidig virke særdeles dekorativ. Betonsten kan benyttes til mindre støttemure, mens der bliver produceret flere forskellige støttemursblokke til højere mure. Den maksimale højde en støttemur kan have, afhænger hovedsageligt af murens vægt, hældning og tykkelse, jo større vægt, hældning og tykkelse, des højere kan muren laves uden at jorden vælter den. Producenterne vil kunne give nærmere oplysninger om de forskellige blokkes bæreevne.

I forbindelse med opsætning af en støttemur vil der typisk også skulle anlægges en trappe. Trapper kan bygges op af betonsten og -fliser, men der bliver også produceret specielle trappeelementer og -trin.



Figur 2.22. Eksempel på én type støttemursblok. Jo større hældning muren sættes med, jo højere kan muren laves, uden risiko for væltning/udtrykning.



Figur 2.21. Der findes mange forskellige typer støttemursblokke, her er benyttet en enkel blok med rustik overflade. Til trappen er der benyttet betonblokke.

Bæreevnen afhænger af vægt og hældning

Specialsten til støttemure

## 2 Anvendelse og egenskaber

## 2.3 Lys-, lyd-, og friktionsegenskaber

Lys-, lyd- og friktionsegenskaber er alle vigtige parametre for vejbelægninger. Der er forskel på asfalt, betonsten og beton med hensyn til disse egenskaber, men der er også forskel på de enkelte betonsten. Har stenen fået en overfladebehandling, eksempelvis slibning, vil det generelt indvirke på alle tre parametre. Der udover har læggemønsteret, fugebredden og stenformen/størrelsen også indflydelse på lydegenskaberne, og farverne har indflydelse på lysegenskaberne. Det følgende er derfor generelle betragtninger for betonsten og -fliser.

### 2.3.1 Lysegenskaber

For at opnå en høj trafikikkerhed på veje er det vigtigt med en effektiv belysning. Selve lyskilden har selvfølgelig stor betydning, men for at bilisterne har let ved at se cyklister og fodgængere, skal der være en stor kontrast til baggrunden, hvilket normalt vil være belægningen. Den største kontrast opnås ved et mørkt objekt mod en lys baggrund, f.eks. lyse betonsten.

En belægnings "lyshedegrad" kan angives ved lysrefleksionen. Målinger på betonsten viser, at lysrefleksionen er 2-3 gange større end for asfalt, afhængig af betonens farve og asfaltens stenmateriale. En svensk undersøgelse viser, at man på veje med lyse betonsten kan nøjes med den halve lysstyrke pr. m<sup>2</sup> sammenlignet med asfaltbelægninger, se "Gatan för människor". Det giver væsentlige besparelser på energiforbruget og anlægsudgifterne til belysning.

På veje med betonbelægninger kan sigten forbedres ved at øge belysningen, modsat asfalt hvor sigten på grund af spejlinger i asfaltoverfladen ikke kan forbedres udover en vis grænse, se "Gatan för människor". Betonstens og -flisers gode lysegenskaber gør det også nemmere at skabe lyse og venlige bymiljøer.

Luminansfaktor P (0,45) (middelværdi af 3 målinger)		
Farve	Lyskilde svarende til dagslys	Lyskilde svarende til gadebelysning
Koksgrå	15	14
Lysegrå	18	16
Mørkebrun	18	16
Lysebrun	29	27
Lys rød	18	16
Sandfarvet	29	27
Betongrå	23	23
Lys tegl	24	22

Tabel 2.1. Målinger af lysrefleksionen på betonsten i forskellige farver - jo større tal jo bedre. Til sammenligning er lysrefleksionen for asfalt ca. 7. Luminansfaktoren er forholdet mellem det reflekterede lys fra hhv. det undersøgte materiale og fra en perfekt diffuserende reflektor, belyst og observeret under de samme forhold. Fra "Design and construction of interlocking concrete block pavements".

Stor lysrefleksion

Luminansfaktor

Lyst miljø



Figur 2.23. Med betonsten og -fliser kan der skabes lyse og venlige miljøer.

## 2.3.2 Lydegenskaber

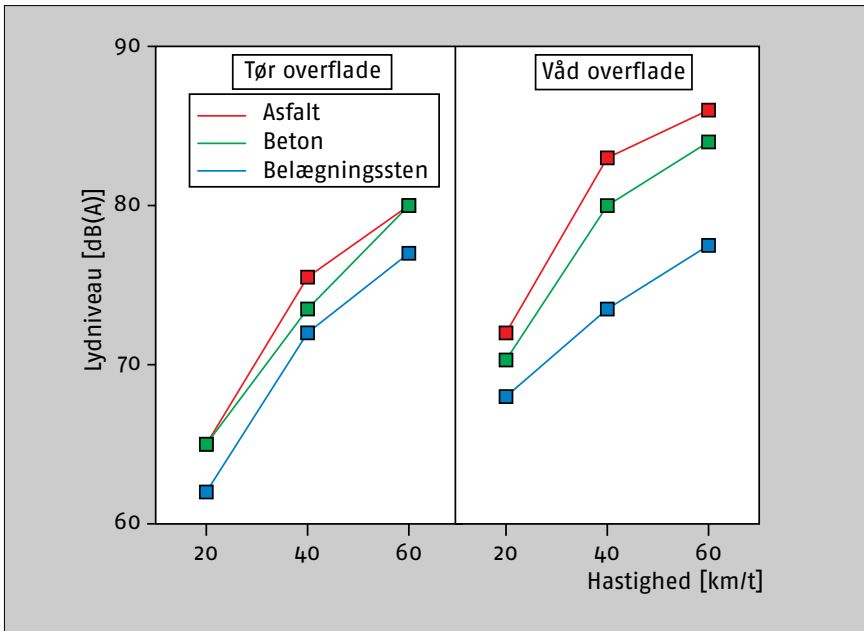
Lydniveauet fra trafikerede veje afhænger bl.a. af biltype, dæktype, hastighed, samt vejbelægning.

Lydmålinger på betonsten i tørt føre

Stentype og dimension	Kanter	Lægningsmønstre	dB (A) ved 30 km/t	dB (A) ved 50 km/t
Rektangulære, 160 x 240 x 80 mm	Ingen affasning	Diagonalt med kørselsretningen	61,8	67,6
do	3 mm affasning	do	62,6	68,1
do	Ingen affasning	Løberforbandt	61,6	67,2
do	3 mm affasning	do	63,4	70,3
Hexagonal, 200 x 80 mm	2 og 3 mm affasning	Diagonalt med kørselsretningen	62,3	67,9
Rektangulære, 160 x 240 x 80 mm	Slåede kanter	Løberforbandt	65,1	72,7
Reference; 2 år gammel asfalt, maks. stenstørrelse 12 mm.			61,8	68

Tabel 2.2. Målinger i vejsiden af lydniveauet fra trafik med forskellige hastigheder og på forskellige belægningsarter (i tørt føre). Ændringer på 3-4 dB(A) er en hørbar forskel og 8-10 dB(A) opleves som en fordobling/halvering. Fra "Gatan som livsrum - om mänsklig trafikmiljö i tätorter".

Ved hastigheder under 40–50 km/t er det lyden fra bilernes motor der er dominerende. Der er derfor ikke særlig stor forskel på om vejbelægningen er betonsten eller asfalt ved disse hastigheder. Ved højere hastigheder er det derimod lyden fra dæk/vejbælgning der er dominerende. Målinger ved vejkanterne viser, at støjen fra biler generelt er den samme på asfalt og betonsten i tørt vejr, men at der i vådt føre er mindre støj ved kørsel på betonsten. Det skyldes, at fugerne leder vandet væk, således at der ligger mindre vand på selve overfladen.



Figur 2.24. Lydniveauet fra trafikken stiger når overfladen er våd, men målinger har vist, at for betonsten er stigningen mindre end for andre belæggninger. Fra "Design and construction of interlocking concrete block pavements".

Lydniveauet inde i bilen er normalt større når der er benyttet betonsten sammenlignet med asfalt. Det skyldes blandt andet fugerne, og afhænger derfor meget af læggemønsteret. Det forøgede lydniveau vil generelt være med til at skærpe førerens opmærksomhed og sænke hastigheden, og kan derfor udnyttes som trafikregulerende middel. Lydniveauet ved kørsel på betonsten vil derfor afhænge af flere ting, herunder stentype, fugebredde, fugeretning og om der er affasning, jf. tabel 2.2.

### 2.3.3 Friktionsegenskaber

For at sikre en tilstrækkelig høj trafikssikkerhed, er det vigtigt at vejbelægningens friktionskoefficient har en vis størrelse, såvel for ny som gammel vej. Friktionskoefficienten afgør hvor hurtigt køretøjerne kan standse og hvor hurtigt et sving kan gennemkøres, dvs. en lav friktionskoefficient medfører lange bremselængder og en lavere mulig hastighed i sving. I Danmark er kravene til friktionskoefficienten på veje fastlagt i vejreglerne, se "Vejregel for vedligehold af færdselsarealet". Da betonsten og -fliser normalt kun benyttes ved hastigheder under 80 km/t, er det kun de følgende krav der er aktuelle:

- Friktionskoefficient  $\geq 0,40$
- På lokalveje med tilladt hastighed  $> 50$  km/t, er kravet vejledende
- På øvrige lokalveje skal der sikres tilstrækkelig friktion.

Lydniveauer i vådt føre

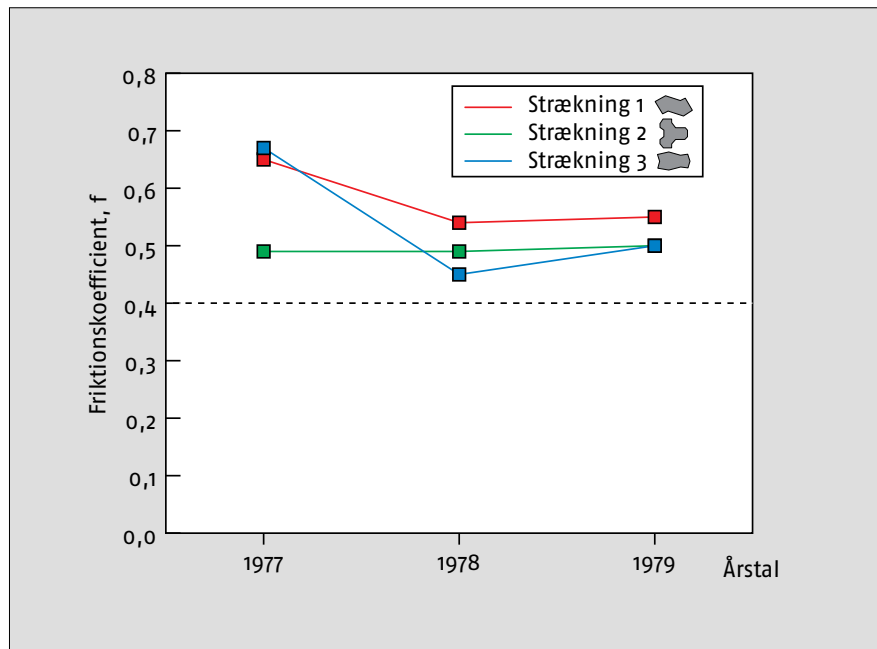
Lydniveauet kan udnyttes som trafikregulerende middel

Friktionskrav

Betonstens og -flisers forholdsvis ru overflade bevirker også, at de ikke bliver glatte i vådt føre.

### Målinger på betonsten

Der er udført flere målinger på såvel nye som gamle betonsten rundt om i verden. I Danmark er der udført målinger på rute 13 ved Viborg, hvor der sidst i 70'erne blev anlagt en teststrækning med betonsten i form af et krybespor. Fra oktober '77 til april '80 blev der løbende målt friktion. Som det ses af figuren faldt friktionen efter udlægningen, men havde en tendens til at stige igen senere. Alle målinger overholder minimumsværdien på 0,4 for hastigheder under 80 km/t. Andre målinger viser, at selv efter 17 års brug er friktionen på betonsten tilfredsstillende, se "Design and construction of interlocking concrete block pavements".



Målinger af friktion

Figur 2.25. Målinger af friktionskoefficient på teststrækning med betonsten ved Viborg. Målingerne er foretaget ved 60 km/t, ved hjælp af Vejdirektoratets stradograf. Målingerne er foretaget på tre sektioner, på nyudlagte sten, samt 1 og 2 år efter udlægningen. Fra "Design and construction of interlocking concrete block pavements".

## 2.4 Fugens funktioner

Korrekt udførte fuger mellem betonsten og -fliser har vital betydning for betonbelægningens unikke evne til at optage store trafikbelastninger. En utilstrækkelig fugekonstruktion eller vedligeholdelse kan, ved betonsten og -fliser, forårsage at store belastninger giver beskæmmende og ødelæggende kantafskalninger, samt forholdsvis store sætninger og sporkøring. Betonbelægningens normalt meget lange levetid kan derved reduceres væsentligt. Det er vigtigt i belægningens første leveår at efterse, at fugerne er fyldte. På pladser hvor der benyttes kraftige feje-/sugemaskiner, eller belægningen trafikeres af flyvemaskiner, er det specielt vigtigt at kontrollere fugerne.

En mere beskrivende betegnelse for en fuge finder man i den engelske oversættelse "joint" (samling), der også anvendes som betegnelse for rørsamlinger. En fuge er ikke kun et "mellemrum" der skal fyldes ud. En fuge skal tætte, overføre kræfter, sikre mod punktbelastninger/ betonkontakt og optage formvariationer.

De fleste betonsten og -fliser støbes med fugeknaster der er ca. 1,5 mm høje. Disse er udviklet, for at gøre det muligt at transportere stenene med en maskinnedlægger uden at tabe enkelte sten. Fugeknasterne sikrer ikke, at der opnås en korrekt fugebredde (2-5 mm), og stenene må således ikke lægges så der er direkte kontakt mellem sten og fugeknaster. Overholdes dette ikke vil det give problemer med at fylde fugerne, mindske kraftoverførelsen mellem stenene og derved give problemer med at holde flugterne.



Figur 2.26. Betonsten og -fliser har normalt ca. 1,5 mm fugeknaster. Fugeknaster er udviklet for at muliggøre transport ved maskinlægning og har ingen funktion med hensyn til at opnå den rette fugebredde.

I det følgende uddybes de vigtigste af fugens funktioner.

### 2.4.1 Overførelse af belastninger

En korrekt udført fuge sikrer, at dele af belastningen på en betonsten overføres til de omkringliggende sten. Denne lastoverføring er medvirkende til, at pladser og veje med betonsten kan optage meget store trafik- og punktbelastninger.

Målinger har vist, at trykket på afretningslaget under en belastet betonsten kun er 1/2-2/3 af den last, som hviler på selve stenen. Dette forudsætter en korrekt udført fuge hvor der ikke er betonkontakt.

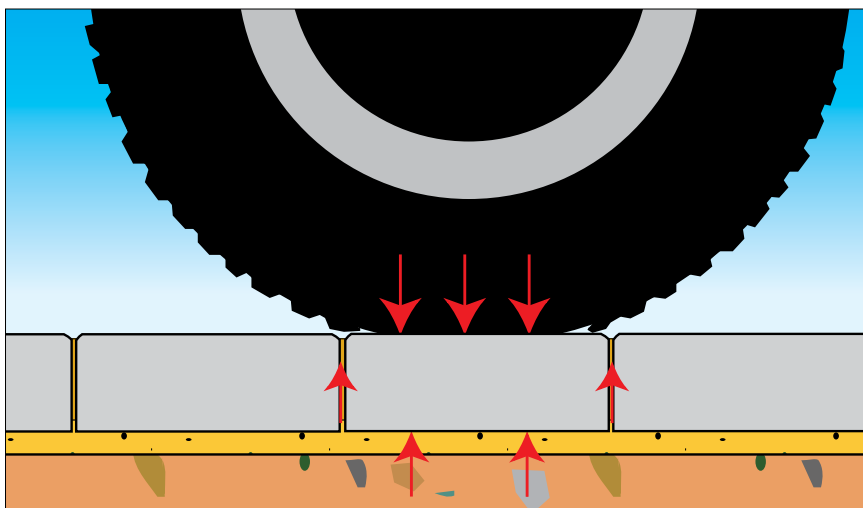
Et andet mål for den mulige lastoverføring igennem fugerne kan bestemmes ved at måle den kraft, der skal til for at trække (centrisk træk) en sten op fra et udlagt felt med betonsten.

Ingen betonkontakt!

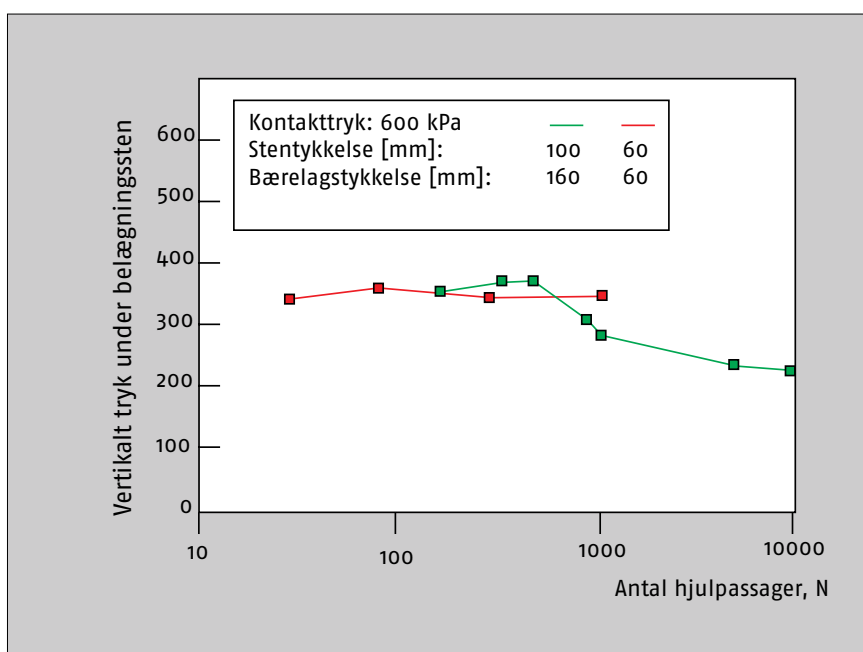
Fugeknaster muliggør transport med maskinnedlægger

Fugen overfører 1/3-1/2 af belastningen

Belastninger overføres via fugen



Figur 2.27. Belastningen på en sten overføres både til de omkringliggende sten og direkte til afretningslaget, forudsat en korrekt udført og vedligeholdt fuge.



Figur 2.28. Forsøg hvor trykket under betonstenene måles, viser at en betonsten kan overføre 1/3 - 1/2 af kontaktrykket til de omkringliggende sten. Fra "Design and construction of interlocking concrete block pavements".

### 2.4.2 Forhindring af kantafskalning

På pladser og veje med tung trafik eller store punktbelastninger er det vigtigt, at belægningen er udført med korrekte fuger, da den ellers ikke kan optage belastningerne.

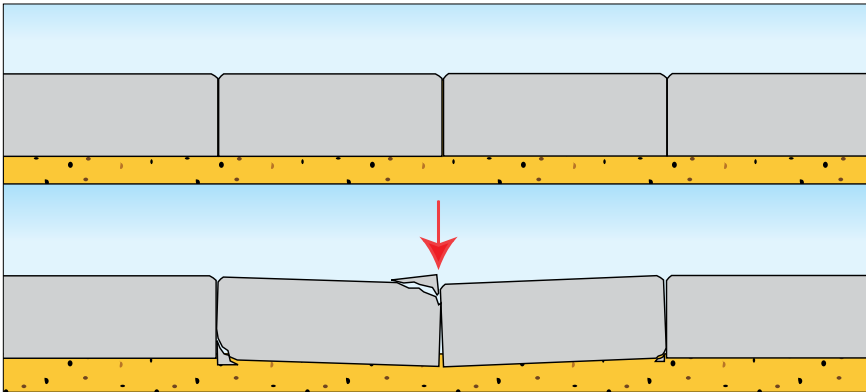
Hvis stenene fejlagtigt ligger helt tæt (knasfuge) kan der opstå kantafskalninger i både top og bund.

Fugerne skal kunne optage de små ikke synlige sætninger og sporkøring, der uvilkaarligt vil komme med tiden på en belægning. Sætningerne kan skyldes små variationer i komprimeringen og i tykkelsen af bære- og afretningslaget.

Hvis stenene ligger helt tæt vil en lille lokal sætning medføre, at nogle af stenenes kanter støder mod hinanden og samtidig påføres en stor belastning. Når en belægning påvirkes af et hjul på et tungt køretøj, vil overfladen få en elastisk nedbøjning på op til 2 mm.



Denne bevægelse skal også kunne optages i fugerne, uden at der opstår kantafskalning. Horisontale laster fra eksempelvis bremsende køretøjer kan også give kantafskalninger, hvis stenene ligger helt tæt.

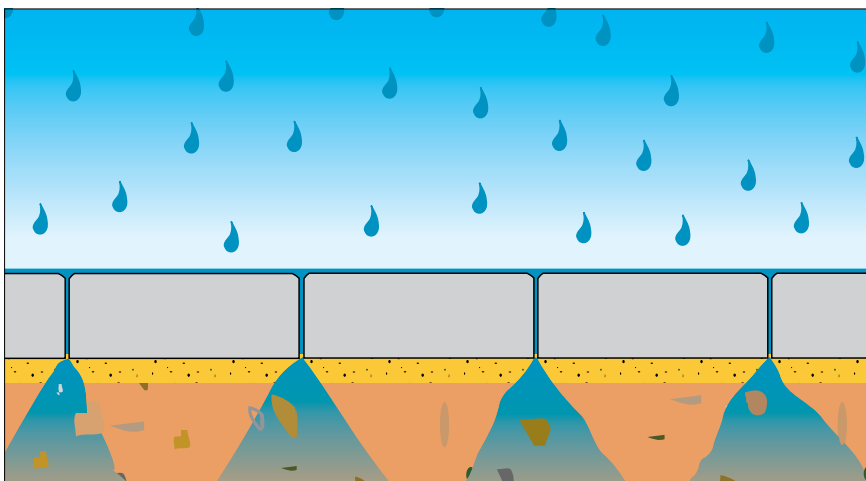


Figur 2.29. Betonsten eller -fliser, der er udlagt helt tæt (knasfuge), kan ikke bevæge sig vertikalt, uden at nogle af kanterne støder mod hinanden og eventuelt knuses.

### 2.4.3 Tætning af belægningen

Store mængder af regnvand kan passere ned gennem fuger, som ikke er fyldt med et egnet fugemateriale. Det kan give følgende tre problemer:

- Hvis bærelaget opblødes, mister det en del af sin bæreevne, og der er dermed risiko for sætninger i belægningen.
- Hvis afretninglaget er vandmættet, kan trafikken forårsage, at der pumpes grus op af fugerne, hvilket på sigt kan give sætninger.
- Når der trænger meget vand ned i befæstelsen, øges risikoen for, at der i frostvejr dannes islinser og dermed frosthævninger.



Figur 2.30. Er fugerne ikke fyldt tilstrækkeligt og/eller anvendes der ikke korrekt fugemateriale, kan store dele af regnvandet løbe ned gennem fugerne og opbløde bærelaget, som derved mister en stor del af bæreevnen.

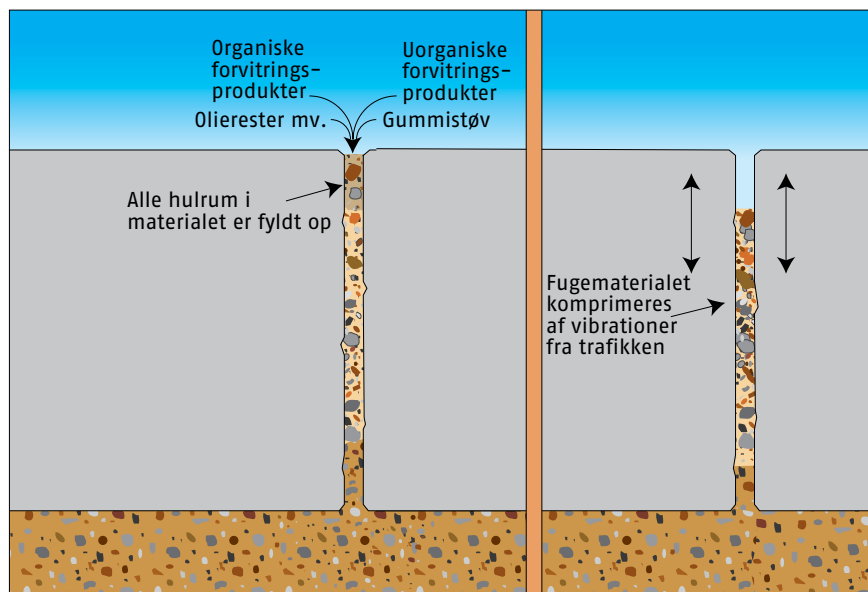
For små fuger giver kantafskalninger

Opblødning af bærelag

Fugen vil lige efter fugefyldningen ikke være helt vandtæt. Organiske og uorganiske forvitningsprodukter, såsom gummistøv og olierester, vil med tiden fylde alle hulrum ud i fugematerialet og øge fugens tæthed. Dette kan kaldes en "naturlig forsegling". På trafikbelastede belægninger vil vibrationerne fra trafikken og lastoverføringen gennem fugematerialet betyde, at fugematerialet komprimeres og opnår stor tæthed i løbet af kort tid. Forskellige målinger viser, at der er stor forskel på hvor tætte fuger er.

Tætheden afhænger blandt andet af fugemateriale, alder, vedligeholdelse, anvendelse af befæstelsen med videre. De mængder vand der trænger ned i gennem korrekt udførte fuger på belægninger med korrekt fald er meget små, og erfaringerne viser, at det ikke giver anledning til problemer.

### Naturlig forsegling



Figur 2.31. En forudsætning for en tæt belægning er, at fugen er fyldt og velkomprimeret. Organiske og uorganiske forvitningsprodukter, gummistøv, olierester med mere, vil med tiden fylde alle hulrum i det øverste fugemateriale og øge fugens tæthed, samt give en god sammenhæng i fugematerialet. Fugens tæthed øges endvidere ved komprimering med vibrator ved udlægningen og vibrationer fra trafikken. Trafikkens vibrationer bevirker, at det ofte er nødvendigt at efterfylde fugerne i de første måneder efter udlægningen.

En meget lerholdig fugegrus giver stor tæthed, men er uheldig at anvende på specielt lyse betonbelægninger, da leret kan give afsmitninger. Leret trænger ned i betonens porer og er vanskelig at fjerne. Det skyldes blandt andet, at karbonatiseringen i betonen binder leret fast. Afsmitningerne er specielt synlige på lyse og farvede belægninger. Desuden kan et stort lerindhold medføre en formindsket kraftoverførsel i fugen. Stenmel anvendes af og til som fugemateriale ved belægningsarbejder. Stenmel indeholder som regel godt med finstof og er nemt at feje ned i fugerne. Det anbefales at sikre, at stenmelet har en jævn kornfordeling. Endvidere kan kornenes meget kantede facon bevirke, at materialet ikke komprimeres/pakkes tilstækkeligt godt. Langtidserfaringer med stenmel som fugemateriale er begrænsede. Se afsnit "3.4.4.3 Fuger" for anbefalinger mht. fugegrus.



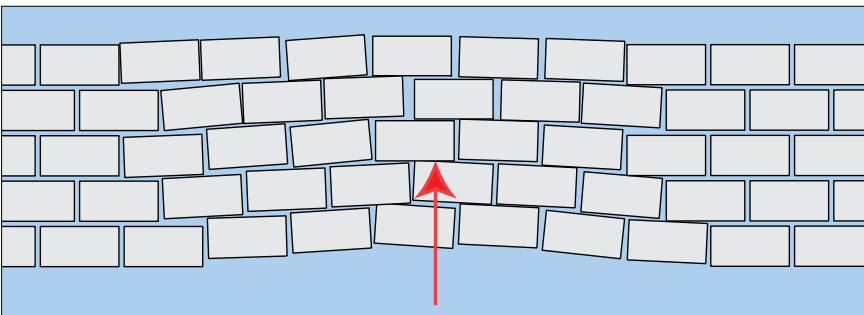
Figur 2.32. Foto af fuger forstørret 3 gange. For at få en tæt og stærk fuger er det vigtigt at gruset har en jævn kornfordeling i området 0-4 mm, at fugematerialet komprimeres af trafikken, og at de mindste hulrum fyldes op med diverse forvittringsprodukter.

### Bundne fugematerialer

Det kan være ønskeligt at forsegle fugen med et bundet fugemateriale på pladser og veje, hvor specielt kraftige feje/suge- eller flyvemaskiner opererer, eller hvor man ønsker en fuldstændig tæt belægning. Der findes forskellige former for bundne fugematerialer, eks. trasskalkmørtel, voksholdig sand, polymerholdig sand og cementbundet sand. De giver en stor tæthed og sammenhæng i fugematerialet. Fælles for dem er imidlertid, at de er forholdsvis stive modsat afretningslag, bærelag og underbund, der normalt er elastiske. Resultatet er derfor ofte, at fugematerialet med tiden krakelerer når det benyttes på arealer med tung trafik. Brugen må derfor normalt frarådes på sådanne steder. En øget holdbarhed af sådanne fuger opnås hvis afretningslag og bærelag også er forholdsvis stive (f.eks. cementbundne).

### 2.4.4 Sikring af læggemønster

Fyldte fuger holder belægningen på plads. Er fugerne ikke er fyldte, er belægningen sårbar overfor horisontale forskydninger. Det kan hovedsageligt forekomme på steder, hvor køretøjer bremses, accelererer eller drejer.



Figur 2.33. Manglende eller forkert fugemateriale kan forårsage, at bremsende, accelererende og svingende trafik giver vandrette forskydninger i belægningen samt kantafskalninger.

Fugegrus med jævn  
kornfordeling

Forsigtighed med  
bundne fugematerialer

Horisontale forskydninger

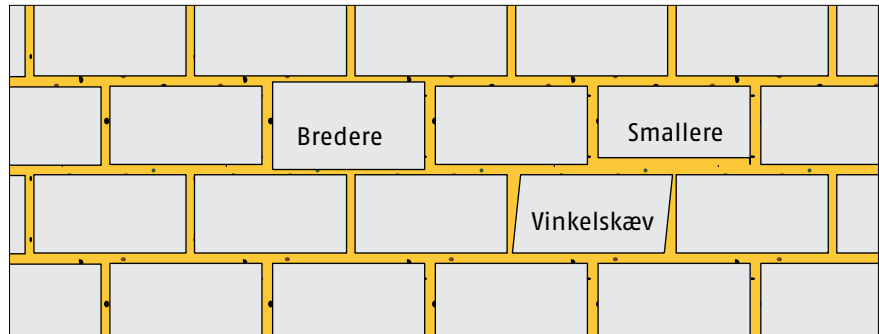
Stentolerancer

## 2.4.5 Optagelse af formvariationer

Ved lægning af granitbrosten skal der, på grund af brostens store formvariation, arbejdes med fuger på op til 15 mm. Fugerne opstår stort set helt automatisk ved lægningen.

Betonsten og -fliser er modsat meget præcise i mål, og fugebredden kan derfor reduceres til 2-5 mm. Denne fugebredde er blandt andet nødvendig for at kompensere for de små variationer, der opstår i emnernes form under fremstillingen.

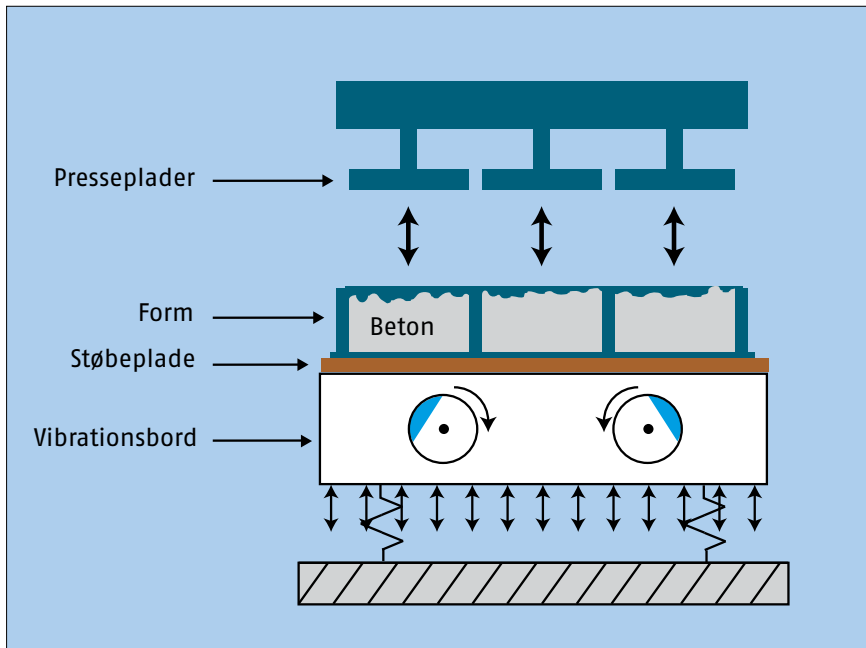
Fuger optager også de udvidelser af belægningen, der sker på grund af varme.



Figur 2.34. Fugen optager små variationer i stenenes form. På figuren er diverse normalt ikke synlige formvariationer vist overdrevet.

## 2.5 Fremstilling af betonsten og -fliser

Beton er et meget fleksibelt materiale der kan formes/vibreres op til mange forskellige formater. Til betonvareproduktion anvendes en speciel jordfugtig beton, der muliggør en hurtig afformning. Nedenstående figur viser princippet for fremstilling af betonsten og -fliser.



Figur 2.35. Princippet for fremstilling af betonsten og -fliser.

Efter betonen er blandet i blandedanlægget, fyldes den i støbeformen. Formen vibreres, og de viste presseplader former betonstenenes/-flisernes overside.

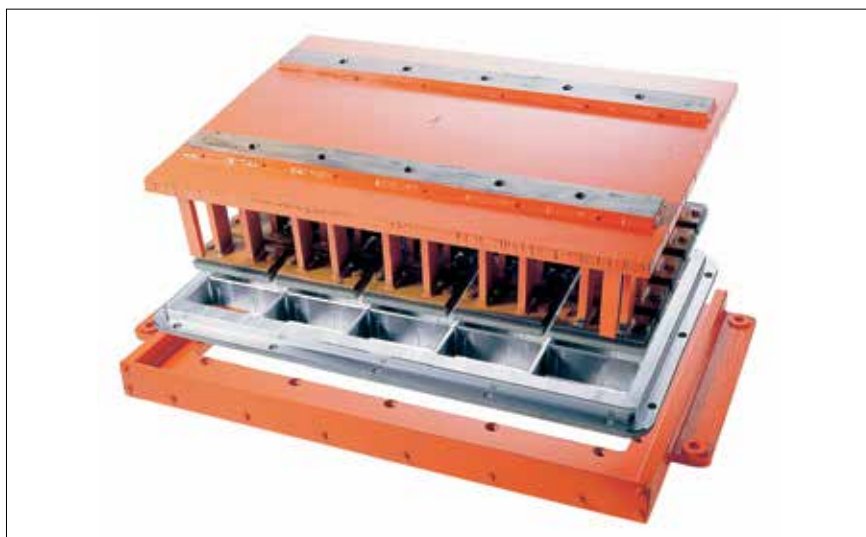
Betonstenene/-fliserne afformes umiddelbart efter, og transporteres på støbepladen til hærdehallen. Efter 1 døgn i hærdehallen transporteres betonstenene/-fliserne ud, palletteres og køres til færdigvarelageret, hvor sidste del af hærningen foregår.

Den forholdsvis tørre beton har et optimalt vand-cement forhold, hvilket giver en meget høj betonstyrke, 50-65 MPa. Det er omkring det dobbelte af, hvad der kræves af en normal konstruktionsbeton. I betonvaremaskiner kan betonen påføres stor vibrationsenergi, således at en forholdsvis tør beton kan komprimeres til en tæt og særdeles stærk beton. Følgende figur viser en form til fremstilling af 100 x 200 x 60 mm betonsten. Med formen kan der fremstilles  $\frac{1}{2}$  m<sup>2</sup> betonsten ad gangen. Formen er til en mellemstor betonvaremaskine og kan benyttes ca. 40.000 gange inden den kasseres på grund af slid. Overfladen på formen har gennemgået en speciel hærkning, således at den kan holde til den meget hårde slidpåvirkning fra betonen.

Støbning af betonsten og -fliser

Betonstyrke på 50-65 MPa

Støbeform



Figur 2.36. Støbeform til fremstilling af 100 x 200 x 60 mm betonsten.

### 2.5.1 Betonvarefabrikken

En betonvarefabrik består typisk af følgende dele:

- Siloanlæg til cement, sand- og stenmaterialer
- Produktionshal med blandedanlæg, doseringsanlæg og betonvaremaskine(-r)
- Palleteringsanlæg
- Hærdehal
- Lagerhal/-område

Produktionen af betonsten og -fliser spænder vidt lige fra den håndværksmæssige specialproduktion til masseproduktion. Hvis produktet er et specialprodukt med en lille omsætning, produceres det typisk på et lille anlæg. Produkter, såsom betonsten til maskinnedlægning, produceres modsat på store anlæg der anvender forme, som fremstiller op til 1 m<sup>2</sup> sten ad gangen. Da der støbes i formen 4-5 gange pr. minut, bliver det til mange kvadratmeter pr. dag.

Støbning af op til 1 m<sup>2</sup> ad gangen



Figur 2.37. Mindre betonstensfabrik. I forgrunden ses en del af lageret og i baggrunden ses produktionshal og cementsiloer.

Selv om man i dag har computerstyrede maskiner, kræver betonvareproduktion en høj håndværksmæssig indsigt i betonen og det tager derfor forholdsvis lang tid at oplære operatører til at betjene betonvaremaskiner.

Betonvarer fremstilles bl.a. af naturmaterialerne sten og sand, som varierer lidt, selv om materialerne er sorteret op i fraktioner. En præcis fugtprocent i betonblandingen har stor betydning for betonens konsistens og dermed hvor præcist den kan fyldes i støbeformen, og hvor godt den kan komprimeres.

Arbejdsmiljøet på betonvarefabrikkerne har igennem de senere år gennemgået store positive forandringer. Produktionen af betonsten, -fliser og -kantsten var i gamle dage hårdt fysisk arbejde hvor maskiner og robotter i dag har overtaget størstedelen af det manuelle arbejde. På fabrikkerne arbejdes der, bl.a i samarbejde med betonindustriens egen bedriftssundhedstjeneste, konstant med at forbedre arbejdsmiljøet.

### 2.5.1.1 Betonvarefabrikkerne er miljøvenlige

En miljøgodkendelse af en betonvarefabrik er normalt kun en formsag, idet produktionen ikke foranlediger:

- Emissioner fra skorstene
- Spildevand
- Lugtemissioner
- Farligt affald til deponi

Mht. støjmissioner vil disse være begrænsede og hovedsagligt komme fra trucks og lastbiler på lagerpladsen.



Figur 2.38. En betonvarefabrik er en miljøvenlig fabrik.

## 2 Anvendelse og egenskaber



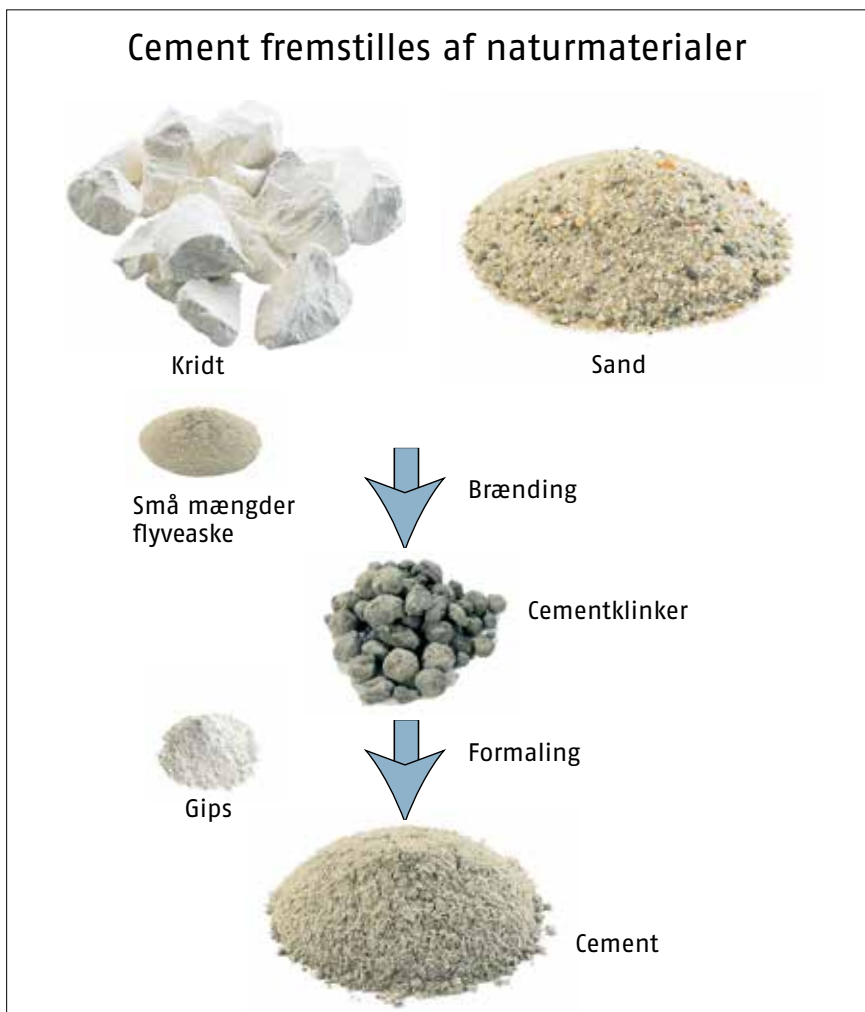
## 2.6 Betonens natur og bestanddele

Betonsten og -fliser fremstilles af vand, sand og sten, der bindes sammen af cement (som hovedsagligt består af sand og kridt) – naturlige materialer, som alle er flere millioner år gamle. Man kan derved sige, at fremstillingen af betonsten er "fra en slags sten til en ny slags sten".

Beton fremstilles af naturmaterialer

### 2.6.1 Fremstilling af cement

Cement fremstilles primært af kridt og sand som brændes i store ovne.



Figur 2.39. Cement fremstilles af sand og kridt samt få procent gips og flyveaske.

### 2.6.2 Fremstilling af beton

Beton er i uhardet tilstand et meget fleksibelt materiale, som let bearbejdes til en ønsket form med en ønsket overfladestruktur, og med en bestemt styrke, tæthed med videre. Dette udnyttes til at fremstille mange forskellige produkter til bl.a. gade-, by- og havemiljøer, samt veje og industriarealer.



*Figur 2.40. Betonbelægninger fremstilles af sand, sten, cement og vand. Disse bestanddele blandes til beton, som støbes og vibreres i forme, til betonsten eller -fliser. Se desuden afsnit "2.5 Fremstilling af betonsten og -fliser".*

Her i landet haves meget store og gode sand-, sten- og kridtforekomster. Omkring 2 % af de sand- og stenmaterialer der indvindes, anvendes til fremstilling af betonsten og -fliser. Der anvendes ofte flere forskellige sand- og stenfraktioner til en betonblanding, for derved at opnå en optimal kornsammensætning og stor tæthed i betonen. Betonblandingen kan sammensættes, således at produktet får bestemte egenskaber – f.eks. høj styrke.



Figur 2.41. Ved at skære en betonsten over kan man bedre se og forstå hvordan den er opbygget.

### 2.6.3 Betonens overflade og struktur

Betonsten, -fliser og -kantsten udstråler robusthed, styrke, miljøvenlighed og en lang levetid. Mange havearkitekter kan godt lide den ældning/patinerung, betonens overflade gennemgår. Der er noget rustikt og uforgængeligt over en 50 år gammel haveflise med mos i kanterne, alger med videre på overfladen og delvis frilagte sten. Betonflisen bliver en integreret del af havemiljøet. Gamle slidte fortovsfliser får også mange rosende ord af landskabsarkitekter.

Betonstens og -flisers udseende ændres med tiden på grund af slid, tilsmudsning med videre. Ved hård slidpåvirkning fra køretøjer vil stenene blive mere synlige i overfladen.



Figur 2.42. 30 år gammel fortovsflise. (Foto: Torben Dam)

Betonens opbygning

Betons patinerung

Men også nye betonsten med videre vil variere i udseende. Da beton består af naturmaterialer, vil der altid være en naturlig variation i overfladerne. Det er variationer i farve, porestruktur, udtørringstid efter regnskyl med videre. Disse variationer vil ofte være fra lag til lag eller palle til palle. Derfor skal der, hvis det er praktisk muligt, under lægningen altid tages sten og fliser fra mindst 3 paller ad gangen, så produkterne blandes. Derved opnås et naturligt spil i belægningen, i stedet for at den fremstår med små felter med forskellig overfladekarakterer. Vurderes det, at variationerne er for store, eller udseendet på anden måde ikke er tilfredsstillende, skal producenten kontaktes for afklaring af dette inden produkterne lægges.

Det følgende er også gældende for andre betonvarer såsom kantsten, støttmursblokke og trappetrin.

Betonsten og -flisers overflade og struktur (dvs. hele betonens opbygning) påvirkes af mange faktorer under fremstillingsprocessen, f.eks.:

- Vandindhold
- Cementindhold
- Tilslag (sand og sten)
- Komprimering.

Disse faktorer har afgørende betydning for, om overfladen bliver åben eller lukket, om der opstår mindre fordybninger, deciderede støbefejl såsom stenreder (åbne områder hvor betonen ikke er komprimeret tilstrækkeligt) eller andet.

### 2.6.3.1 Åbne og lukkede overflader

Overfladen på betonsten og -fliser kan variere fra meget åben til meget lukket i strukturen. Med hensyn til styrke og vejrbestandighed (frost-tø) kan man ikke sige, om den ene er bedre end den anden, så det er mere en smagssag, hvilken overfladestruktur man foretrækker. Da støbeprocessen er meget kompliceret, med mange faktorer der har betydning for overfladens udseende, vil der altid være variationer, hvad enten producenten laver sten med en mere lukket eller åben overflade. Det er specielt vandindholdet der har betydning, og det er meget små variationer der skal til for at give synlige forskelle i overfladen. Forskelle i den fugt der følger med tilslaget kan for eksempel være udslagsgivende. Andre faktorer kan være små forskelle i fyldningen af formen og komprimeringen af betonen.

Ved bestilling af betonsten og -fliser, skal forventningerne til overfladen afstemmes med producenten, ligesom brolæggeren/anlægsgartneren skal afstemme deres forventninger til overfladen med deres kunde.



Figur 2.43. Til venstre ses en fliseoverflade med åben overflade og til højre en flise med en lukket overflade.

Ved modtagelse af produkterne kontrolleres overfladen, og er den ikke som forventet, er det vigtigt, at producenten kontaktes inden belægningen lægges.



Figur 2.44. Til venstre ses en sten med meget lukket overflade og til højre en sten med meget åben overflade. Rent teknisk er stenene lige gode, men i et enkelt parti sten må der ikke være så stor variation i udseendet.

## Sådan opnås en flot betonoverflade

### Før lægning

- Bestil alle betonsten med videre samtidigt, så de er fra samme produktion.
- Undgå al form for tilsmudsning.
- Kontrollér at produkterne er tilfredsstillende. Er det ikke tilfældet kontaktes producenten straks.
- Lav en grundig planlægning, så korrekt placering, fald, opbygning og niveau af belægningen opnås.

### Under lægning

- Tag sten og fliser fra mindst 3 paller ad gangen for at give et naturligt spil i belægningen.
- Lad ikke fugegrus henligge på belægningen – fej den ren straks efter fugning.
- Kontrollér løbende at produkterne er tilfredsstillende. Er det ikke tilfældet kontaktes producenten straks.
- Undgå al form for tilsmudsning.

### Efter lægning

- Fjern eventuelt fremspirret ukrudt inden det breder sig.
- Efterfyld fuger efter behov.
- Fej jævnlige belægningen.
- Undgå al form for tilsmudsning.
- Ret eventuelle lunger op, da de samler vand og smuds på belægningen.

### 2.6.3.2 Huller i overfladen

Der kan nogle gange observeres små huller eller fordybninger i overfladen. De vil typisk opstå inden for det første år. Fordybningerne opstår, hvis der i tilslaget af sten og grus også har været noget porøst materiale, f.eks. en lille hård lerklump. Denne kan ikke ses efter støbningen, men ligger den i overfladen vil den efter nogen tid gå i opløsning og efterlade en fordybning. Derfor er det ikke muligt for producenten at sortere emnet fra før levering.

Ovenstående må ikke være generelt forekommende. Som tommelfingerregel bør der maksimalt være 10 huller større end 1,5 cm<sup>2</sup> pr. 10 m<sup>2</sup> belægning.



Figur 2.45. Et hul i overfladen, som følge af et porøst materiale i tilslaget, opstår normalt indenfor det første år.

### 2.6.3.3 Kalkspringere

En variant af ovenstående fænomen ses hvor porøse kalksten, der ligger lige under overfladen, kan give et keglebrud (kalkspringer). Dette sker hvis kalkstenen er vandmættet og vandet fryser. Så udvider vandet sig, hvilket kan resultere i, at en flage af betonen "springer" af.

Tilslagsmaterialerne undersøges og kontrolleres, men man kan ikke helt undgå problemet, og producenten kan ikke sortere emnet fra, da det først er efter noget tid, at fordybningen opstår.

Problemet må ikke optræde generelt. Som tommelfingerregel bør der maksimalt være 10 huller større end 1,5 cm<sup>2</sup> pr. 10 m<sup>2</sup> belægning.



Figur 2.46. En "kalkspringer", dvs. en vandmættet kalksten, har udvidet sig i frostvejr og presset en flage af betonen.

### 2.6.3.4 Støbe- og håndteringsfejl

Ses støbefejl i overfladen, skyldes det ofte mangelfuld fyldning af formen. Efter støbningen kan der også ske beskadigelse af enkelte sten eller fliser. Denne type fejl medfører selvfølgelig ombytning, men det er vigtigt, at de sorteres fra inden de lægges. Ved gennemgående/generelle fejl skal producenten straks kontaktes.



Figur 2.47. Til venstre ses revner i overfladen som følge af fejl i støbningen eller håndteringen. Til højre et eksempel på mangelfuld fyldning af formen, der har givet en fordybning i kanten af flisen. Sådanne fliser skal sorteres fra før lægningen.

Støbefejl

### 2.6.3.5 Betons porestruktur

Strukturen af betonen i hele stenen eller flisen, eller mere præcist porestrukturen (dvs. mængden og størrelsen af porer), har betydning for, hvor hurtigt betonen tørrer efter f.eks. et regnskyl. På betonsten og -fliser med stor forskel i porestrukturen, vil der ikke være den store forskel at se i tørvejr. Men når de har været våde, vil man kunne se, at der er forskel på, hvor hurtigt de tørrer igen. Nogle tørrer på få timer, andre bruger et døgn eller mere. Der er tale om uundgåelige variationer, som kun har betydning for flisens udseende. En flise med en åben struktur, har ikke større risiko for skader som følge af frost-tø påvirkninger og salt end en med mere lukket struktur. Betonens struktur vil med tiden blive mere lukket, da partikler fra omgivelserne og kalkudfældninger er med til at gøre dem tættere.



Figur 2.48. Varierende porestruktur kan give et udseende som dette, når fliserne tørrer ud efter regnvejr. Det er ikke tegn på manglende modstandsevne over for påvirkninger fra frost-tø og salt.

Varierende porestruktur

### 2.6.3.6 Porestruktur og algevækst

Algevækst (grønne alger) er afhængig af et fugtigt miljø, men også næringsstoffer. Fliser der er fugtige i længere tid kan have større tendens til algevækst, men placering i sol/skygge, hældning, dræning af befæstelsen, beplantning, samt industrier og andet der medfører en del næringsstoffer i luften, har mindst ligeså stor betydning. Kommer der grønne alger er disse nemme at fjerne, med en af de mange algefjernere der er på markedet. Efter 1-2 år vil porestrukturen være mere lukket og eventuel algevækst som følge deraf, vil være reduceret tilsvarende.

### 2.6.4 Betonens farve

Det er cementen der giver betonen sin karakteristiske grå farve. Til-sætning af farve, f.eks. jernoxider, anvendelse af hvid cement, eller specielle grus- eller sandmaterialer kan imidlertid give betonen mange forskellige farvenuancer.

Betonsten og -fliser fås i et væld af farver, både afdæmpede og mere klare farver. Fælles for farverne er, at de ændrer sig med tiden af flere årsager.

#### 2.6.4.1 Farveændringer

Betonsten og -fliser vil altid ændre farve med tiden, både på grund af solens blegende effekt, urenheder fra omgivelserne, men også som følge af kalkudfældninger.

Desuden vil tilslaget (dvs. stenene i betonen) blive mere synligt med tiden, og farven på dette vil påvirke helhedsindtrykket af farven. Farven på tilslaget varierer alt efter hvor i landet det er udvundet og der ændres ikke tilslag afhængigt af om betonen skal have en lys eller mørk farve. Derudover er farvepigmenternes ydeevne og egenskaber også afgørende. Når der vælges farver bør det ske ud fra vareprøver der ligger under åben himmel og som gerne er et par år gamle. Her får man det bedste indtryk af, hvorledes farverne ser ud. Farver bør aldrig vælges alene på baggrund af foto eller farvebetegnelser – en "sort" flise vil mange f.eks. betegne som "koksgrå".

Lyse farver vil generelt blive mørkere på grund af aflejring af diverse partikler fra omgivelserne. Hvor hurtigt det går, vil afhænge meget af tilsmudsningsgraden på den aktuelle lokalitet.

Mørke farver bliver derimod lysere med tiden som følge af kalkudfældninger og solens blegende effekt.

Det er kun det yderste lag af betonen der bleges, så jo mere slid der er på belægningen, jo mindre bleges den. Farverne holdes også friskere i længere tid, hvis belægningen jævnlige fejles over med skarpkornet sand. Afsyring (som ved fjernelse af kalkudfældninger) kan også hjælpe på afblegede overflader. Se nærmere i afsnit "4.3.3.1 Fjernelse af kalkudfældninger".

Hvor hurtigt farverne ændres er vidt forskelligt, det kan være alt fra få uger til flere år.

Der pågår til stadighed udvikling af farvetilsætninger, med henblik på, at holdbarheden forlænges.

Solen bleger



Figur 2.49. Viser 2 ens sorte fliser, der er 8 år gamle. Flisen til venstre har været tildækket, mens den til højre har ligget frit og derfor er blevet bleget af sol med videre.



### 2.6.4.2 Farveforskelle

Farveforskelle mellem betonsten, -fliser og -tilbehørssten forekommer ofte. Selv farven på almindelige grå sten og fliser (hvor der ingen farve er tilsat) kan variere fra meget lys grå til en noget mørkere grå. Disse forskelle opstår som følge af forskelle i hærdeforhold, fugtindhold, sand og grus, temperaturforhold inden hærdning, cement- og flyve-askesammensætning og lignende. Farveforskellen er ofte størst, mellem forskellige formater, og mellem normalsten og tilbehørssten som f.eks. halve sten, da de ofte er produceret på forskellige tidspunkter, maskiner og fabrikker. Hvis man vil undgå denne farveforskel, kan man tilpasse normalsten istedet for at anvende tilbehørssten.

### 2.6.5 Udfældninger

Der kan opstå flere forskellige typer udfældninger inde fra betonen. Kalkudfældninger gennemgås særskilt i kap. "4 Drift og vedligeholdelse".

#### 2.6.5.1 Jernudfældninger

Betonsten og -fliser kan i nogle tilfælde få små rustpletter. Pletterne stammer fra jernholdige partikler i det sand og grus, som stenene er støbt af, f.eks. i form af lerjærnsten.

Det er naturligvis noget man prøver at undgå, men helt eliminere det kan man ikke.

Udfældningerne kan variere noget i farve, afhængigt af i hvilken form jernet er tilstede. Jernudfældningerne er ikke skadelige for betonen, og visse typer forsvinder med tiden.

Som tommelfingerregel bør der maksimalt være 10 pletter der er større end 1,5 cm<sup>2</sup> pr. 10 m<sup>2</sup> belægning.



Figur 2.50. Forskellige former for jernudfældninger. Nogle typer forsvinder med tiden, andre gør ikke.

#### 2.6.5.2 Alkalikiselreaktioner

I alt beton, er der risiko for alkalikiselreaktioner, men i betonsten og -fliser er risikoen meget lille på grund af flere forhold. Reaktionen består i, at porøs flint reagerer med cementen og danner en gel. Denne gel kan suge vand og ekspandere, hvorved der opstår fine revner i betonen. Stikprøver har vist, at de fine revner ikke giver større risiko for afskalninger som følge af frost-tø påvirkninger. I sjældne tilfælde, hvor det er større revner, kan det have en nedbrydende effekt. På betonbelægninger opstår dette fænomen praktisk talt kun ved overdreven brug af tørsalte. Se nærmere om korrekt brug af tørsalt i kap. "4 Drift og vedligeholdelse".



*Figur 2.51. Eksempel på alkalikiselreaktioner, også kaldet "spindelvæv".*

## 2.7 Levetid

Ved levetidsbetragtninger skelnes der mellem to forskellige levetider:

- Betonens levetid
- Befæstelsens levetid, både funktionelt og æstetisk.

### 2.7.1 Betons levetid

Betonsten og -fliser fremstillet efter dagens krav vil have en meget lang levetid. Der findes mange eksempler på hårdt belastede industripladser, som er etableret for over 35 år siden, hvor betonen kun er ubetydelig ældet af de mange års påvirkninger. Mange af Københavns Kommunes fortovsfliser er over 60 år gamle og kan generelt set holde i mange år endnu.



Figur 2.52. Militærareal med ca. 15 år gamle betonsten, der dagligt har været udsat for kørsel med bl.a. bæltekøretøjer. Stenene er kun slidt meget begrænset.

Der findes dog også eksempler på betonsten som ikke har klaret påvirkningerne. Dette skyldes i flere tilfælde manglende frostbestandighed kombineret med overdreven saltning.

Der er sket en stor teknologiske udvikling indenfor fremstilling af betonsten og -fliser, hvilket betyder, at betonstens og -flisers levetid idag er kraftigt forøget både via en mere tæt beton samt en højere frostbestandighed, men også via en mere ensartet kvalitet. Der pågår fortsat en konstant udvikling i fremstillingen af betonsten og -fliser.

### 2.7.2 Levetid for befæstelse

Befæstelsens funktionelle og æstetiske levetid er afhængig af følgende:

- Dimensionering
- Udførelse
- Vedligeholdelse.

Ved funktionel levetid forstås hvor længe arealet holder til påvirkningerne fra trafikken og f.eks. om afvandingen af arealet er opretholdt. Ved æstetisk levetid forstås hvor længe udseendet er tilfredsstillende.

Betonsten tåler bæltekøretøjer

Funktionel og æstetisk levetid

Begrænsning af skadens omfang

Typiske skader og konsekvenser

Ved mange anvendelser er den æstetiske levetid ofte kortere end den funktionelle, hvilket betyder, at befæstelsen lægges om selvom både beton og funktion er i orden. Den æstetiske levetid afhænger hovedsagelig af det valgte design.

### 2.7.2.1 Dimensionering

Hvis en befæstelse er under- eller overdimensioneret i forhold til den belastning som den påvirkes af, har det stor indflydelse på belægningens jævnhed (sporkøring og lunker) og dermed levetid.

En vej med betonsten skal derfor dimensioneres til den forventede trafik, f.eks. 100 lastbiler pr. døgn i en 20 års periode, i alt 730.000 lastbiler. Belægningen regnes udtjent når sporkøringer med videre overskrider det der kan tolereres på den pågældende lokalitet.

### 2.7.2.2 Udførelse

Som beskrevet i denne håndbog er der en lang række krav til udførelsen af befæstelser med betonsten og -fliser. Fravigelse fra disse krav vil give en lavere funktionel og æstetisk levetid.

### 2.7.2.3 Vedligeholdelse

Opstår der en skade på en befæstelse, er det vigtigt, at denne udbedres, for på den måde, at begrænse skadens omfang.

Nedenstående er eksempler på typiske skader og konsekvenser heraf:

- Beskadiget kantsikring kan foranledige sætninger i belægningen.
- Lunker/sporkøring fyldt med regnvand kan give en opblødning af bærelag og dermed foranledige, at lunken vokser i omfang.
- Fuger, som er delvist tømte af f.eks. en feje-/sugemaskine, vil transportere meget regnvand ned i bærelagene og dermed foranledige mindre bæreevne, med sætninger til følge.

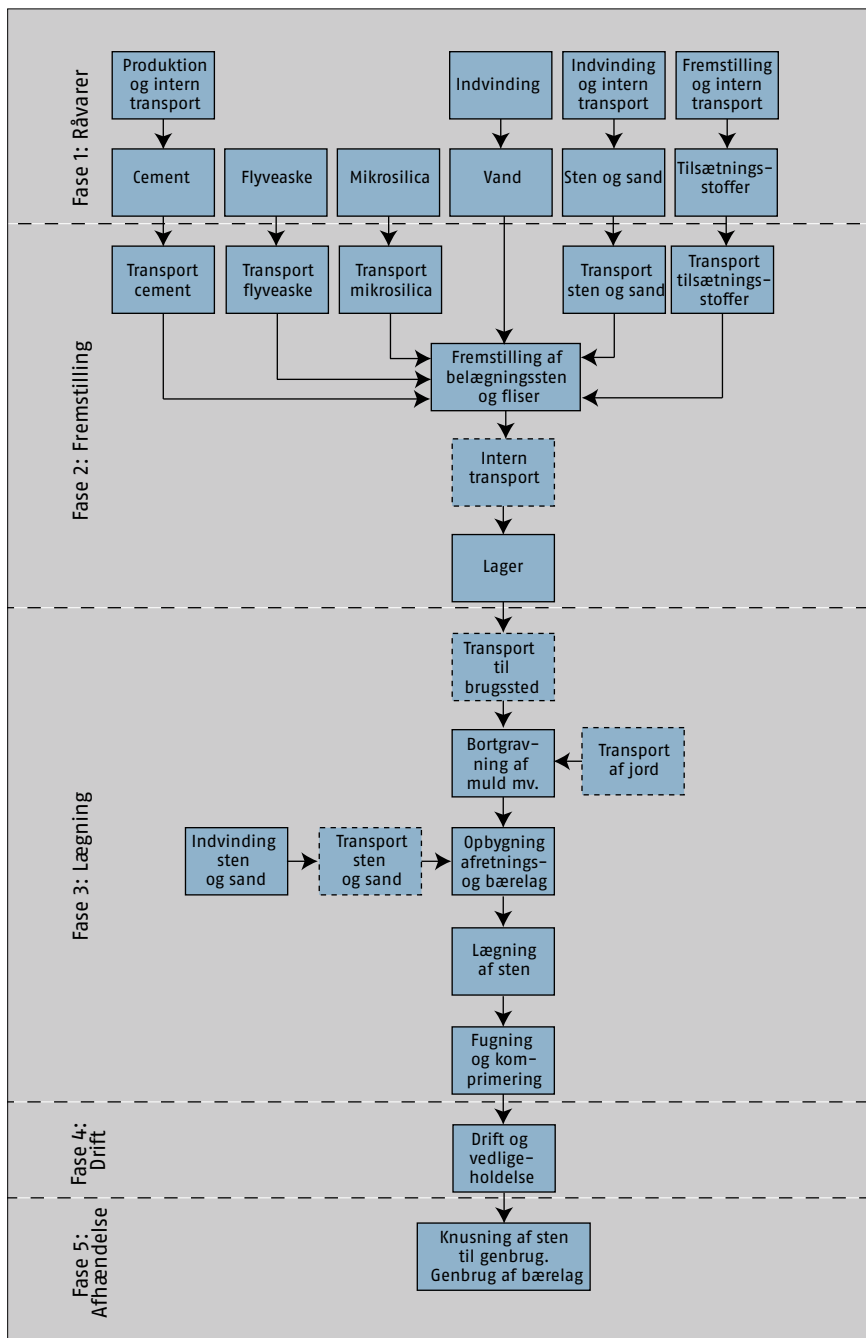
Befæstelser med betonsten og -fliser kan retableres uden ar, f.eks. efter et ledningsarbejde. Dette er med til at sikre en lang æstetisk levetid. Den æstetiske levetid vil dog også være afhængig af, at der fra starten er lavet nogle gennemtænkte løsninger, så belægningens udseende er tilfredsstillende i mange år.

## 2.8 Miljødata

Betonsten og -fliser er miljøvenlige produkter. Fremstillingen foranlediger i store træk ingen emissioner til vand eller affald til deponi eller forbrænding og kun enkelte emissioner til luft. Alt i alt lave miljøbelastninger i produktets livscyklus.

### 2.8.1 Livscyklusanalyser

Livscyklusanalyser har klarlagt de forskellige miljøpåvirkninger i de fleste faser i produktets levetid. I det efterfølgende procesdiagram fremgår de forskellige faser i betonstens og -flisers levetid.



Procesdiagram for betonsten og -fliser

Figur 2.53. Procesdiagram for betonsten og -fliser. Af diagrammet fremgår de 5 faser i produktets levetid.

### Miljødata for betonsten og -fliser

Miljødata for betonsten og -fliser			Råstof-udvinding og produktion af cement	Fremstilling på betonvarefabrik	Afhændelse (knusning)*
Input	Energi	Totalt energiforbrug [GJ/t]	0,62	0,23	0,039
		Kul [kg/t]	-	12	0,5
		Olie [kg/t]	-	5,0	0,5
		Naturgas [Nm <sup>3</sup> /t]	-	1,2	0,01
		Petcoke [kg/t]	-	3,0	0
	Materialer	Knappe materialer [t/t]	0	0	0
		Flyveaske og silica [t/t]	-	0,04	0
Vand	[m <sup>3</sup> /t]	0,2	0,1	0	
Output	Emissioner til luft	CO <sub>2</sub> [t/t]	0,095	0,015	0,0029
		SO <sub>2</sub> [kg/t]	0,089	0,081	9,6 · 10 <sup>-6</sup>
		NO <sub>x</sub> [kg/t]	0,35	0,076	2,4 · 10 <sup>-5</sup>
		Pb [g/t]	0,015	0,001	0
		Cd [g/t]	0,001	0	0
		Hg [g/t]	0,001	0	0
		CO [g/t]	7,9	17	0
		NMVOG [g/t]	0,3	5	0
	Emissioner til spildevand	-	Ubetydelig	Ubetydelig	0
	Affald	Materiale/spild [%]	Ubetydelig	3 (til genbrug)	0
Olie/kemi [kg/t]		0,01 (til forbrænding)	0,06 (til forbrænding)	0	

Tabel 2.23. Miljødata for råvare-, fremstillings- og afhændelsesfasen. Miljødata er fra "Håndbog i miljørigtig projektering". Data for afhændelsesfasen er fra "Afløbskomponenter af PVC, HDPE, PP og beton". \* Ekskl. transport.

### Emissioner

De anførte emissioner stammer fra energiforbruget. Emissionerne er udstødningsgasser fra køretøjer, emissioner ved fremstilling af el og emissioner fra brændingen af kridt ved cementfremstillingen.

Dataene for fremstilling på betonvarefabrik kan svinge lidt fra fabrik til fabrik, idet der er forskel på recepter, cementtype, afstande til grusgrave med videre. (dataene for betonvarefabrikken er oprindeligt opgjort for betonrørsproduktion, men denne produktion afviger kun ubetydeligt fra produktionen af betonsten).

Som det fremgår af tabellen forekommer de mest betydende miljøbelastninger ved fremstillingen af cement. I forhold til andre materialer er energiforbruget ved fremstilling af cement dog ikke stort. Da cementen samtidig kun udgør ca. 12–13 % af den færdige betonsten er energiforbruget pr. kg betonsten meget lavt. Kun ca. 1/3 i forhold til tegl og asfalt og kun 1/100 af plast (pr. kg produkt).

Lægningsfasen er ikke opgjort. Den varierer meget fra projekt til projekt, hvor specielt opbygning af bundsikrings- og bærelag har stor betydning for energiforbruget. Selve lægningen af stenene udgør et forholdsvis lille energiforbrug.



Figur 2.54. Udtjent beton knuses let ved hjælp af knuseanlæg og sorteres i ønskede kornstørrelser. Knust beton kan anvendes i ny beton eller til opbygning af bærelag.

Driftsfasen er heller ikke kortlagt i danske miljøprojekter, idet den vil være meget afhængig af de forskellige befæstelsestyper. Et svensk miljøprojekt, se "Livscyklusanalyse af marksten", har dog driftsfasen med, og her fremføres, at den dominerende miljøbelastning i en vejs livsforløb skyldes elforbruget til belysning af vejen. Det er derfor en miljømæssig fordel, at betonsten og -fliser kan fremstilles i lyse farver, hvilket giver en høj lysrefleksion og dermed et lavere energiforbrug til belysning. Se endvidere afsnit "2.3.1 Lysegenskaber".

Ukrudtbekæmpelse vil også have betydning for miljøbelastningerne i brugsfasen, afhængig af den valgte metode (brænding, sprøjtning med videre). Ukrudtbekæmpelsen er ikke medtaget i det svenske projekt. Der arbejdes på flere udviklingsprojekter som skal klarlægge mulighederne for at sænke miljøbelastningerne ved fremstilling af beton, specielt belastningerne ved fremstilling af cement.

Genbrug af beton

Vejbelysning er den dominerende miljøbelastning

## 2 Anvendelse og egenskaber



## 2.9 Produktstandarder og kvalitetssikring

Alle betonvarefabrikkerne i Belægningsgruppen producerer i dag efter følgende fælles europæiske standarder (CEN-standarder):

- DS/EN 1338 Belægningssten af beton – Krav og prøvningsmetoder
- DS/EN 1339 Betonfliser – Krav og prøvningsmetoder
- DS/EN 1340 Kantsten af beton – Krav og prøvningsmetoder.

Gode og præcise standarder er vigtige, for at sikre at produktkvaliteten hos betonvareleverandørerne er så høj, at de funktionskrav der er til de forskellige typer af betonsten og -fliser, opfyldes uden problemer. Funktionskrav og påvirkninger på belægninger er forskellige fra land til land i Europa. Betonsten, -fliser og -kantsten kan derfor fremstilles i forskellige kvalitetsklasser hvad angår målafvigelse, slidstyrke, styrke, frost-tøbestandighed med videre.

I Danmark er der i standarderne tilføjet et nationalt annek, der viser hvilke klasser der anbefales i Danmark. Anbefalingerne skal sikre, at kvalitetsniveauet ikke sænkes i forhold til det hidtidige kvalitetsniveau i Danmark inden CEN-standarderne trådte i kraft i 2005.

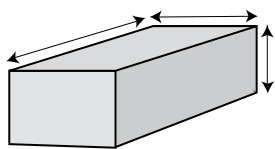
Anbefalingerne er uddybet i vejledningen "DS/INF 156" fra Dansk Standard. I de følgende skemaer er de anbefalede klasser markeret med blå. Ved køb af betonsten, -fliser og -kantsten bør det derfor sikres, at produkterne opfylder de anbefalede klasser. Dette kvalitetsniveau tager højde for det danske vejr, med skiftende frost-tø påvirkninger. De mange passager af frysepunktet medfører afskalninger hvis kvalitetsniveauet ikke er i top, hvorfor der er fokus på netop dette i de nationale anbefalinger i Danmark.

Medlemmer af Belægningsgruppen har forpligtet sig til at overholde disse anbefalede klasser, samt at kontrollere styrkekravet på et tidligt tidspunkt, for derved at sikre en høj kvalitet.

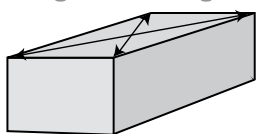
I det følgende præsenteres de væsentlige krav i DS/EN 1338, 1339 og 1340 fra de nyeste udgaver der ved redaktionens afslutning ikke var endeligt godkendt, men forventes at blive det.

Fælles europæiske  
standarder

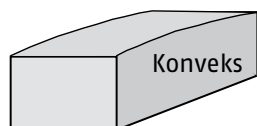
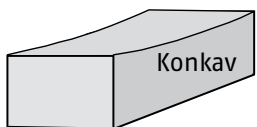
## Afvielser - længde, bredde og tykkelse



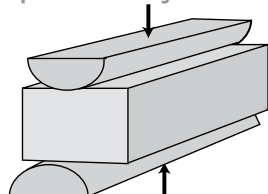
## Afvielser - diagonaler



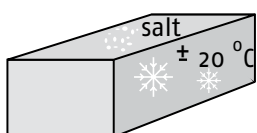
## Afvielser - planhed



## Spaltetrækstyrke



## Vejrbestandighed



## 2.9.1 Krav til betonsten

I det følgende præsenteres de væsentlige krav i "DS/EN 1338" til betonsten. Der angives også mærkningskoder, som skal anvendes ved identifikation af produkterne. De anbefalede klasser er markeret med blå.

Tilladelige afvielser - længde, bredde og tykkelse			
Stentykkelse [mm]	Længde [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
< 100	± 2	± 2	± 3
≥ 100	± 3	± 3	± 4

Forskellen mellem to målinger af tykkelsen af en enkelt sten skal være ≤ 3 mm

Table 2.4. Tilladelige afvielser - længde, bredde og tykkelse.

Tilladelige afvielser - diagonaler		
Klasse	Mærkning	Maks. forskel [mm]
1	J	5,0
2	K	3,0
3	L	2,0

Table 2.5. Tilladelige afvielser mellem to diagonaler. Gælder kun for betonsten med diagonaler > 300 mm.

Tilladelige afvielser - planhed		
Længde af retskinne [mm]	Maks. konveks	Maks. Konkav
300	1,5	1,0
400	2,0	1,5

Table 2.6. Tilladelige afvielser - planhed. Gælder kun for betonsten med største sidelængde > 300 mm.

Spaltetrækstyrke		
Karakteristisk styrke [MPa]	Min. styrke [MPa]	Min. brudlast pr. mm brudflade [N/mm]
3,6	2,9	250

Table 2.7. Krav til spaltetrækstyrke.

Krav til vejrbestandighed			
Klasse	Mærkning	Massetab efter frost-tø-test [kg/m²]	Vandabsorption [% af masse]
1	A	Ingen krav	Ingen krav
2	B	Ingen krav	≤ 6,5 i gennemsnit
3	D	≤ 1,0 i gennemsnit. Ingen værdier >1,5	Ingen krav
4	E	Værdi deklareret af producenten	Ingen Krav

Table 2.8. Krav til frost-tø-bestandighed og vandabsorption. Klasse 1 anvendes hvor der ikke skiftevis er frost og tø.

## 2.9.2 Krav til betonfliser

I det følgende præsenteres de væsentlige krav i "DS/EN 1339" til betonfliser. Der angives også en mærkningskode, som skal anvendes ved identifikation af produktet. De anbefalede klasser er markeret med blå.

Tilladelige afvigelser - længde, bredde og tykkelse					
Klasse	Mærkning	Flise-dimension [mm]	Længde [mm]	Bredde [mm]	Tykkelse [mm]
1	N	Alle	± 5	± 5	± 3
2	P	≤ 600 > 600	± 2 ± 3	± 2 ± 3	± 3 ± 3
3	R	Alle	± 2	± 2	± 2

Forskellen mellem to målinger på en enkelt flise skal være ≤ 3 mm

Tabel 2.9 Tilladelige afvigelser - længde, bredde og tykkelse.

Tilladelige afvigelser - diagonaler			
Klasse	Mærkning	Diagonal [mm]	Maks forskel [mm]
1	J	≤ 850 > 850	5 8
2	K	≤ 850 > 850	3 6
3	L	≤ 850 > 850	2 4

Tabel 2.10. Tilladelige afvigelser mellem to diagonaler. Gælder kun når diagonal længden er > 300 mm.

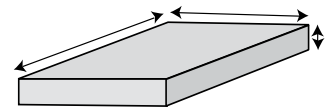
Tilladelige afvigelser - planhed		
Længde af retskinne [mm]	Maks. konveks [mm]	Maks. konkav [mm]
300	1,5	1,0
400	2,0	1,5
500	2,5	1,5
800	4,0	2,5

Tabel 2.11. Tilladelige afvigelser - planhed. Gælder kun for betonfliser med største sidelængde > 300 mm.

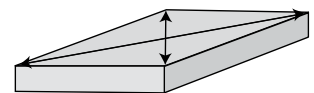
Bøjningstrækstyrke			
Klasse	Mærkning	Karakteristisk styrke [MPa]	Min. styrke [MPa]
1	S	3,5	2,8
2	T	4,0	3,2
3	U	5,0	4,0

Tabel 2.12. Krav til bøjningstrækstyrke.

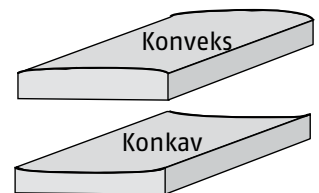
Afvigelser -  
længde, bredde og tykkelse



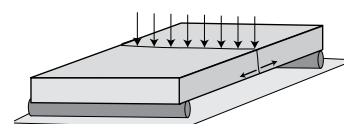
Afvigelser - diagonaler



Afvigelser - planhed

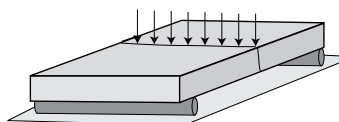


Bøjningstrækstyrke

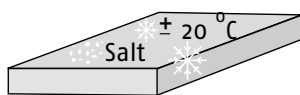


## 2 Anvendelse og egenskaber

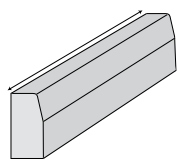
### Brudlast



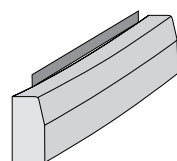
### Vejrbestandighed



### Målafvigelser



### Afvigelser i planhed



Brudlast			
Klasse	Mærkning	Karakteristisk brudlast [kN]	Min. brudlast [kN]
30	3	3,0	2,4
45	4	4,5	3,6
70	7	7,0	5,6
110	11	11,0	8,8
140	14	14,0	11,2
250	25	25,0	20,0
300	30	30,0	24,0

NB Af hensyn til dimensioneringen skal man være opmærksom på de mulige laster på fliser større end 600 mm.

Tabel 2.13. Krav til brudlast.

Krav til vejrbestandighed			
Klasse	Mærkning	Massetab efter frost-tø-test [kg/m <sup>2</sup> ]	Vandabsorption [% af masse]
1	A	Ingen krav	Ingen krav
2	B	Ingen krav	≤ 6,5 i gennemsnit
3	D	≤ 1,0 i gennemsnit. Ingen værdier >1,5	Ingen krav
4	E	Værdi deklareret af producenten	Ingen Krav

Tabel 2.14. Krav til frost-tø bestandighed og vandabsorption. Klasse 1 anvendes hvor der ikke skiftevis er frost og tø.

### 2.9.3 Krav til betonkantsten

I det følgende præsenteres de væsentlige krav i "DS/EN 1340" til betonkantsten. Der angives også en mærkningskode, som skal anvendes ved identifikation af produktet.

#### Målafvigelser:

Længde: ± 1 % afrundet til nærmeste mm, dog mindst ± 4 mm og højst ± 10 mm.

Den enkelte producent kan godt deklare og producere efter skrappe krav end anført i de nye standarder. Disse skrappe krav vil da fremgå af firmaets tekniske deklARATIONER. De anbefalede klasser er markeret med blå.

Tilladelige afvigelser - planhed	
Længde af retskinne [mm]	Tilladelig afvigelse [mm]
300	± 1,5
400	± 2,0
500	± 2,5
800	± 4,0

Tabel 2.15. Tilladelige afvigelser - planhed/rethed.

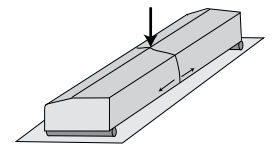
Bøjningstrækstyrke			
Klasse	Mærkning	Karakteristisk styrke [MPa]	Min. styrke [MPa]
1	S	3,5	2,8
2	T	5,0	4,0
3	U	6,0	4,8

Tabel 2.16. Krav til bøjningstrækstyrken.

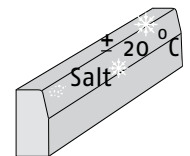
Krav til vejrbestandighed			
Klasse	Mærkning	Massetab efter frost-tø-test [kg/m <sup>2</sup> ]	Vandabsorption [% af masse]
1	A	Ingen krav	Ingen krav
2	B	Ingen krav	≤ 6,5 i gennemsnit
3	D	≤ 1,0 i gennemsnit. Ingen værdier >1,5	Ingen krav
4	E	Værdi deklareret af producenten	Ingen Krav

Tabel 2.17. Krav til frost-tø bestandighed og vandabsorption. Klasse 1 anvendes hvor der ikke skiftevis er frost og tø.

#### Bøjningstrækstyrke



#### Vejrbestandighed



### 2.9.4 Mål/byggemål

Alle produkter benævnes med deres byggemål, f.eks. 100 x 200 x 60 mm. Byggemålet er inkl. fugeknaster og fuge (2–5 mm).

På producenternes deklARATIONER vil selve betonstensens mål fremgå, f.eks. for en 100 x 200 mm sten:

96,25 mm (± 2 mm) x 196,25 mm (± 2 mm).

Det er ekskl. fugeknasten, som typisk har en tykkelse på ca. 1,5 mm.

### 2.9.5 Produktmærkning

På selve emnet skal produktmærkningen for betonsten indholde:

- Producentidentifikation
- Produktionsdato
- Produktklasser der er opfyldt, f.eks. JD.

På de medfølgende dokumenter skal produktmærkningen indeholde:

- CE-mærke
- Produktstandard, f.eks. "DS/EN 1338"
- Anvendelse, f.eks. "udendørs betonsten"
- Identifikation af produktet, f.eks. "7 cm Herregårdssten"
- Spaltetrækstyrke, f.eks. "> 3,6 MPa"
- Friktion og holdbarhed, f.eks. "tilfredsstillende"
- Årstal.

### 2.9.6 Kvalitetssikring/kontrolordning

Alle fabrikker i Belægningsgruppen er tilknyttet en offentlig anerkendt kontrolordning eller et certificeringsorgan, der er akkrediteret til produktcertificering. Her kan nævnes Betonvarekontrollen (BVK) og DanCert.

Kontrol- og  
certificeringsordninger

## 2 Anvendelse og egenskaber

# 3 Dimensionering, projektering og udførelse

## Indhold:

- 3.1 Vejregler, normer, standarder og vejledninger
- 3.2 Afvanding af belægningen
- 3.3 Dimensionering af befæstelser
  - 3.3.1 Arealer uden trafikbelastning
  - 3.3.2 Forsøg og erfaringer med trafikbelastede arealer
  - 3.3.3 Trafikbelastede arealer
- 3.4 Projektering og udførelse af trafikerede befæstelser
  - 3.4.1 Underbunden
  - 3.4.2 Bundsikringslag
  - 3.4.3 Bærelag
  - 3.4.4 Betonstenslag
  - 3.4.5 Betonfliselag
  - 3.4.6 Kantsikring
- 3.5 Projektering og udførelse af trapper
  - 3.5.1 Projektering
  - 3.5.2 Betonstenstrappe
  - 3.5.3 Elementtrappe
- 3.6 Projektering og udførelse af støtte- og støjmure
  - 3.6.1 Støttemure og støjmure
  - 3.6.2 Opbygning af støttemure
  - 3.6.3 Opbygning af støjmure
- 3.7 Vakuumløfteudstyr
  - 3.7.1 Materiel og betonfliser
  - 3.7.2 Valg af maskine
  - 3.7.3 Når fliserne ikke kan løftes
- 3.8 Permeable belægnings
  - 3.8.1 Formål
  - 3.8.2 Forudsætninger og virkemåde
  - 3.8.3 Forundersøgelser
  - 3.8.4 Dimensionering og projektering
  - 3.8.5 Udførelse

I det følgende vil projektering, dimensionering og udførelse af befæstelser med betonsten og -fliser blive gennemgået.

Først gennemgås de normer og vejregler, der har speciel betydning ved dimensionering og projektering af veje og pladser med betonsten og -fliser. Derefter gives der en kort beskrivelse af afvanding af befæstelser. Selve dimensioneringen, dvs. fastlæggelse af lagtykkelser med videre, gennemgås for befæstelser med og uden trafiklast. Dimensioneringen af trafikbelastede arealer tager udgangspunkt i "Dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger". Opbygningerne i vejreglen kan benyttes når aksellasterne ikke overstiger 10 ton, som er det højst tilladte på offentlige veje herhjemme. Disse 10 tons aksler skal forstås som en lige ud kørende aksel med kun mindre nedbremsninger, små sving og stort set jævnt fordelt last, svarende til at hjullasten højst bliver 6 ton.

Opbygningen og udførelsen af de forskellige lag i befæstelsen gennemgås, med henvisninger til relevante vejregler og lignende. For industriarealer med specielle påvirkninger, som f.eks.:

- Aksellaster over 10 ton
- Store vridende belastninger
- Ekstraordinære belastninger fra nedbremsning
- Forøgede hjullaster pga. hurtigt svingende køretøjer

skal opbygningen af befæstelsen derfor fastlægges for det specifikke projekt. Det er meget vigtigt, at belastningen fastlægges meget omhyggeligt, f.eks. kan belægningens overfladegeometri (f.eks. konvolutfald) bevirke, at der i mindre områder ikke er kontakt mellem belægningen og alle aksler på 3 og flerakslede lastbiler. Det bevirker en væsentlig forøgelse af det aksel-/hjultryk der skal dimensioneres for. Det skal bemærkes, at én lastbil slider som ca. 20.000 personbiler, og en truck med 40 ton akseltryk kan derfor ikke regnes som fire 10 ton aksler. Opbygningen af sådanne befæstelser gennemgås ikke nærmere her og det anbefales at indhente kompetent rådgivning ved dimensionering af sådanne specielle belægninger.

Betonsten og -fliser er velegnede på parkeringsdæk, men der laves ofte fejl i den underliggende opbygning og udførelse. Det er blandt andet forhold som isoleringens trykstyrke, afvanding, opdrift fra isoleringen ved opstuvning af vand, samt mange andre forhold man skal være opmærksom på. Det anbefales derfor at indhente kompetent rådgivning fra specialister da disse opbygninger er meget specielle. Opbygningen af belægninger på parkeringsdæk og lignende gennemgås ikke nærmere her.

Selve planlægningen og den geometriske udformning af veje, pladser og kryds, vil heller ikke blive gennemgået i denne håndbog. Der henvises i stedet til en serie hæfter fra Vejdirektoratet "Byernes trafikarealer", hvor der er vejledning og mange eksempler på hvorledes denne del håndteres.

Til sidst gennemgås opbygningen og projekteringen af trapper og støttemure.



# 3.1 Vejregler, normer, standarder og vejledninger

Dimensionering, projektering og udførelse af offentlige veje, pladser og stier skal normalt laves i henhold til gældende vejregler, normer og standarder. Nedenfor ses en oversigt over de vejregler og standarder der henvises til i de følgende afsnit.

## Vejregler

### **Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger**

Reglen indeholder standardopbygninger for befæstelser med betonsten for forskellige trafikklasser.

### **Udbudsforskrifter for jordarbejder**

Reglen angiver bl.a. krav til udførelse af planum, dvs. komprimering, jævnhed og profil af underbunden.

### **Udbuds- og anlægfsforskrifter for bundsikring af sand og grus**

Reglen angiver bl.a. krav til udførelse af bundsikringslag, dvs. komprimering, jævnhed og profil.

### **Udbuds- og anlægfsforskrifter for ubundne bærelag af stabilt grus**

Reglen angiver bl.a. krav til udførelse af bærelag med stabilt grus, dvs. komprimering, jævnhed og profil.

### **Udbudsforskrifter for Varmblandet asfalt**

Reglen angiver bl.a. krav til udførelse af bærelag af grusasfaltbeton (GAB), dvs. komprimering, jævnhed og profil, samt materialekrav.

### **Udbudsforskrift for brolægning**

Reglen angiver bl.a. krav til afretningslag, fuger og betonsten.

Relevante vejregler

## Standarder

### **DS 1136, Brolægning og belægningsarbejder**

Standarden angiver krav til afretningslag og den færdige belægningsoverflade.

### **DS/EN 1338, Belægningssten af beton - Krav og prøvningsmetoder**

Standard for betonsten.

### **DS/EN 1339, Betonfliser - Krav og prøvningsmetoder**

Standard for betonfliser.

### **DS/EN 1340, Kantsten af beton - Krav og prøvningsmetoder**

Standard for betonkantsten.

Relevante standarder

Bestilling af anvisninger

### Andre anvisninger

**Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde 2010**  
Anviser blandt andet opbygninger for befæstelser der ikke trafikbelastes.

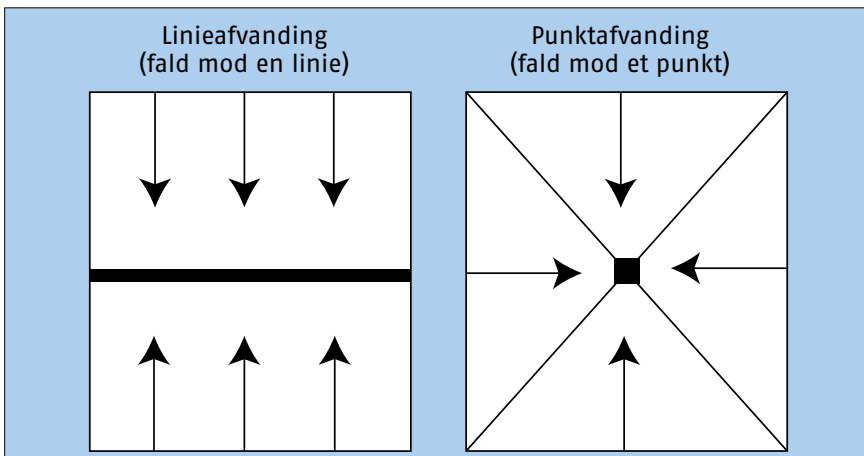
Vejregler og udbuds- og anlægfsforskrifter kan købes hos Vejdirektoratet, [www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk), eller ses på [www.vejregler.dk](http://www.vejregler.dk).

Normer og standarder kan købes hos Dansk Standard, [www.ds.dk](http://www.ds.dk).

Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde 2010 kan købes hos Danske Anlægsgartnere, [www.dag.dk](http://www.dag.dk).

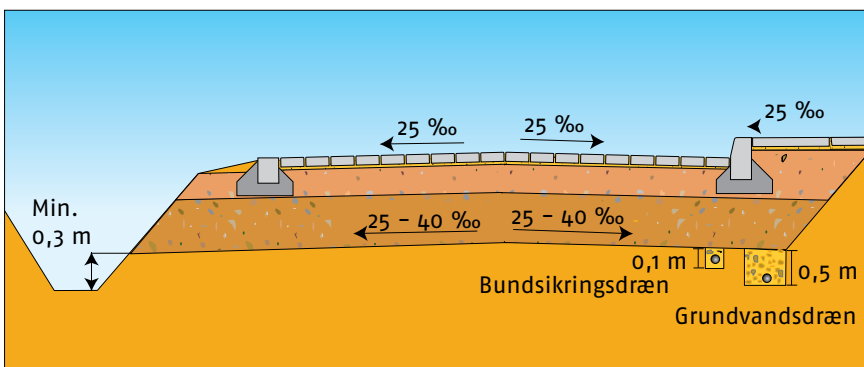
## 3.2 Afvanding af belægningen

Af hensyn til såvel de kørendes som gåendes sikkerhed og komfort er det nødvendigt, at der etableres et tilpas stort fald på vejen eller pladsen, for at der kan ske en effektiv afvanding af overfladen. Står der vand på overfladen medfører det risiko for aquaplaning eller isglatte områder om vinteren. Ved bygninger skal de nærmeste 2 meter altid falde væk fra huset, jf. "Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde 2010". Der skal benyttes et tværfald på 25 ‰ for veje og fortove, jf. "DS 1136". På pladser skal der tilstræbes et fald på ca. 20 ‰, hvilket normalt er tilstrækkeligt til, at der ikke samles vand på overfladen – heller ikke selvom der skulle opstå mindre lunger og sporkøring. På pladser giver det ofte det bedste resultat når der vælges linieafvanding fremfor punktafvanding, idet punktafvanding gør det vanskeligt, at udføre de forskellige lag korrekt samt at kørselskomforten påvirkes kraftigt af skarpe knæk ved skillelinjer.



Figur 3.1. Grundlæggende er der 2 muligheder for afvanding på pladser, linieafvanding og punktafvanding. Linieafvanding giver oftest det bedste resultat.

Selve vejaksen (bærelag med videre) skal afvandes/drænes. Det opnås normalt ved at anlægge vejgrøfterne med en bundkote, som er mindst 0,3 m lavere end planumkant, eller ved at placere dræn i rabatarealet langs begge vejsider. Desuden skal planum have et fald på 25-40 ‰. Vejdræn kan overordnet deles ind i grundvandsdræn og bundsikringsdræn. Grundvandsdræn dræner det vand, der trænger ind i vejaksen fra den omgivende råjord, eller som siver ned gennem den ubefæstede overflade. Grundvandsdræn placeres normalt langs vejens rabatter.



Figur 3.2. Såvel vejoverfladen som selve vejaksen skal afvandes.

Tværfald

Linie- og punktafvanding

Fald på alle lag

## Dræning

Bundsikringsdræn dræner hovedsageligt det vand, der siver ned gennem ubefæstede overflader. Bundsikringsdræn er typisk et supplement til grundvandsdræn.

Afhængig af bl.a. underbundens permeabilitet kan det også være nødvendigt at lægge et bundsikringslag nederst i vejbefæstelsen for at dræne de overliggende lag og virke kapillaritetsbrydende, så der ikke trænger vand op i bærelaget fra underbunden. Se nærmere i afsnit "3.4.2 Bundsikringslag".

I bymæssig bebyggelse kan det normalt undlades at indlægge dræn, idet nedsivningen af vand, på grund af tætte belægninger på overfladen, er meget lille.

Det er meget vigtigt at undgå, at et bærelag bliver vandmættet. Sker dette reduceres lagets bæreevne væsentligt med sætninger og sporskøring til følge. Korrekt fugning og vedligeholdelse af fugerne er en forudsætning for tilstrækkelig tæthed i betonstenslaget. En stor del af de skader der opstår på veje skyldes vand i befæstelsen, typisk pga. forkert fugemateriale eller ikke-fyldte fuger.

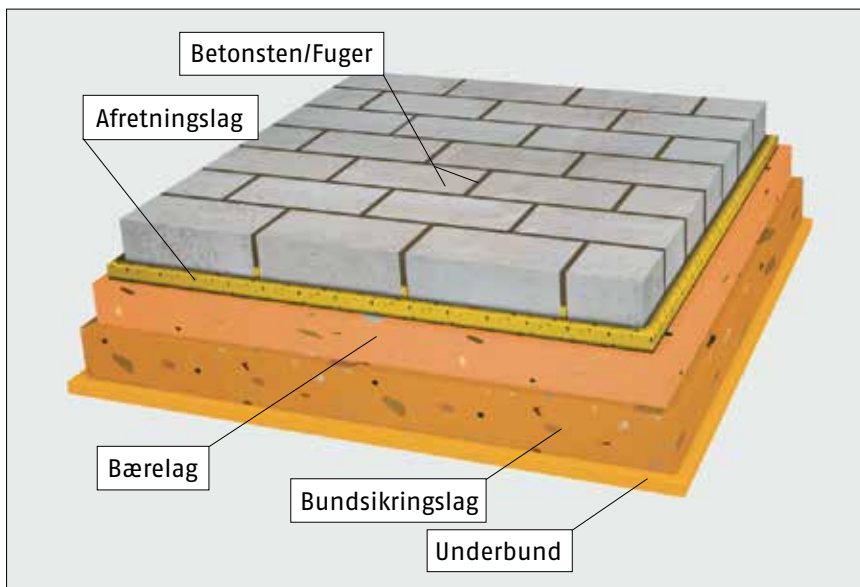
Som udgangspunkt er det derfor en god tommelfingerregel, at permeabiliteten skal være stigende nedefter, for derved at reducere risikoen for, at der ophobes vand i nogle af lagene. Der skal selvfølgelig tages hensyn til, at fugearealet kun udgør en begrænset del af det samlede areal (se nærmere i afsnit "2.4 Fugens funktioner"). Det vil sige, at permeabiliteten af bærelaget kun skal være større end en vis procentdel af permeabiliteten af fugerne.

## 3.3 Dimensionering af befæstelser

For at opnå en tilfredsstillende levetid af en befæstelse skal den være dimensioneret korrekt. Befæstelser med trafikbelastning dimensioneres normalt i henhold til "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger".

På pladser og veje med meget speciel trafik, eksempelvis industripladser med tunge containertrucks (akseltryk over 10 ton), bør der foretages en dimensionering ud fra den specifikke trafikbelastning.

De opbygninger, der præsenteres efterfølgende i afsnit 3.3.1 og 3.3.3, er baseret på såvel beregninger som erfaringer.



Figur 3.3. Af figuren fremgår de forskellige benævnelser i befæstelsen.

### 3.3.1 Arealer uden trafikbelastning

For arealer uden trafikbelastning vil det normalt være uøkonomisk at benytte de opbygninger, der er anvist i vejreglerne, da disse ikke omhandler befæstelser uden trafikbelastning. I "Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde 2010", er der angivet standardbefæstelser med stabilt grus og bundsikringslag, som vist i tabellen.

Underbund	Frostsikker	Frosttvivlsom	Frostfarlig
Sten-/flisetykkelse	50	50	50
Afretningslag	30	30	30
Stabilt grus	100	100	100
Bundsikringslag	-	120	120

Tabel 3.1. Opbygning af befæstelser uden trafikbelastning. Mål i mm. Se evt. "Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde 2010".

Befæstelser uden trafikbelastning

Frostsikker, frosttvivlsom og frostfarlig underbund

Frostsikker, frosttvivlsom og frostfarlig underbund er defineret som:

- Frostsikker: Sand og grus uden revler af ler og silt af betydning
- Frosttvivlsom: Moræneler
- Frostfarlig: Silt samt meget fedt ler (plastisk ler).

### 3.3.2 Forsøg og erfaringer med trafikbelastede arealer

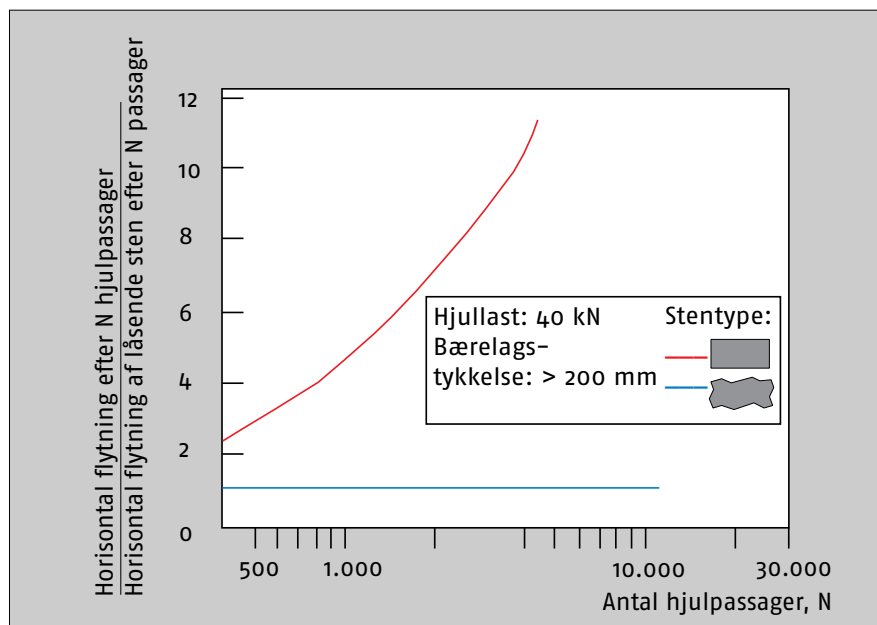
Tykkelsen af de forskellige lag i befæstelsen kan fastlægges ud fra diverse beregninger. Valget af stentype og læggemønstre er det derimod nødvendigt at basere på erfaringer. Specielt har det vist sig, at der er stor forskel på, hvordan forskellige stentyper og læggemønstre opfører sig, når de udsættes for tung trafik, mens forskellen ved mindre trafikbelastninger er meget begrænset.

Den australske professor Brian Shackel har blandt andet udført en del forsøg, for at belyse eventuelle forskelle mellem stentyper, læggemønstre og stentykkelser. I det følgende ses nogle af resultaterne af disse forsøg.

#### Låsende og ikke-låsende sten

Figuren indikerer den forskel der er mellem låsende og ikke-låsende sten, med hensyn til de horisontale belastninger, det vil sige belastninger fra bremsende, svingende og accelererende trafik. Det skal bemærkes, at figuren ikke viser hvor stor den reelle forskel er, men blot forholdet mellem horisontale flytninger i belægninger med de to stentyper.

Horisontale deformationer

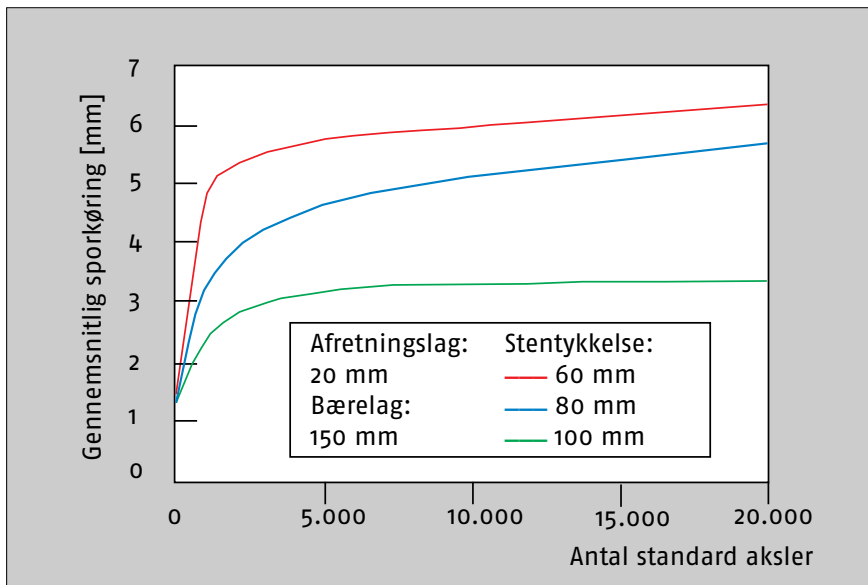


Figur 3.4. Dette forsøg viser forskellen mellem låsende og ikke-låsende sten – de låsende sten er bedst til at optage de horisontale belastninger. Fra "Design and construction of interlocking concrete block pavement".

#### Stentykkelse

Stentykkelsen har også betydning for evnen til at modvirke sporkøring. Tykke sten sikrer en bedre kraftoverføring i fugen, og dermed mindre

sporkøring. Udover hensynet til sporkøring, afhænger den optimale stentykkelse også af, hvilken type belastning der forekommer. På industripladser med tung trafik, eksempelvis trucks med højt dæktryk, vil det ofte være hensigtsmæssigt med 90-100 mm tykke sten.

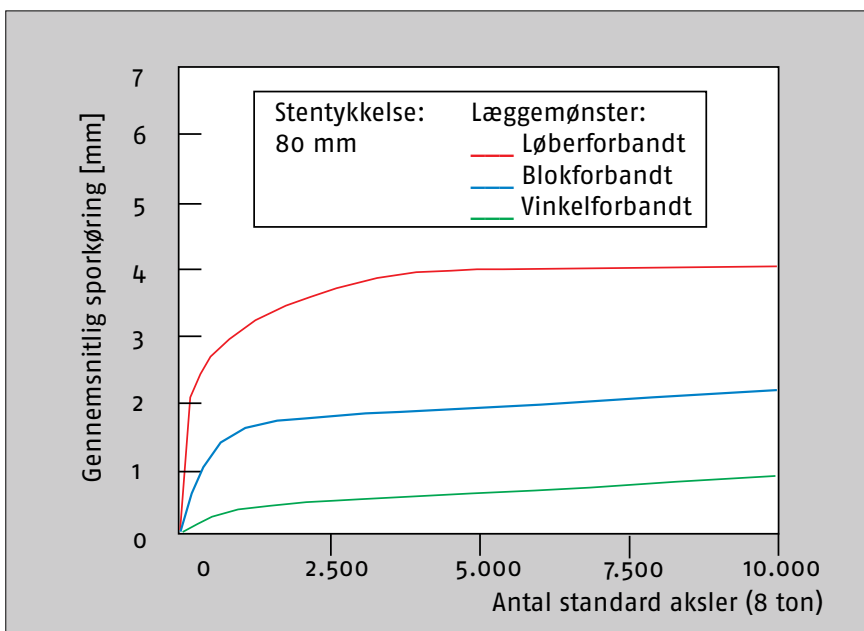


Figur 3.5. Af figuren fremgår, at tykke sten giver mindst sporkøring. Fra "Design and construction of interlocking concrete block pavement".

Tykkere sten giver mindre sporkøring

### Læggemønstre

Det mønster stenene bliver lagt i har også indflydelse på evnen til at modstå sporkøring. For de stentyper, der kan lægges i flere forskellige mønstre (eksempelvis rektangulære sten), som vinkelforbandt (sildebensmønster), blok- og løberforbandt, bør man vælge vinkelforbandt, da det er det mest effektive for disse stentyper. Udover evnen til at modstå sporkøring, har læggemønstret også en væsentlig indflydelse på belægningens evne til at modstå de horisontale påvirkninger.



Figur 3.6. Af figuren fremgår, at det for rektangulære sten er vinkelforbandt (sildebensmønstret), der er det mest effektive læggemønster til at modstå sporkøring. Fra "Design and construction of interlocking concrete block pavement".

Vinkelforbandt er det mest effektive læggemønster

E-værdi

"Lock-up"

Test af belægninger

## E-værdier og "lock-up"

Som det fremgår af foregående figurer har såvel stentype, -tykkelse og læggemønster indflydelse på en befæstelses evne til at modstå vertikale og horisontale påvirkninger.

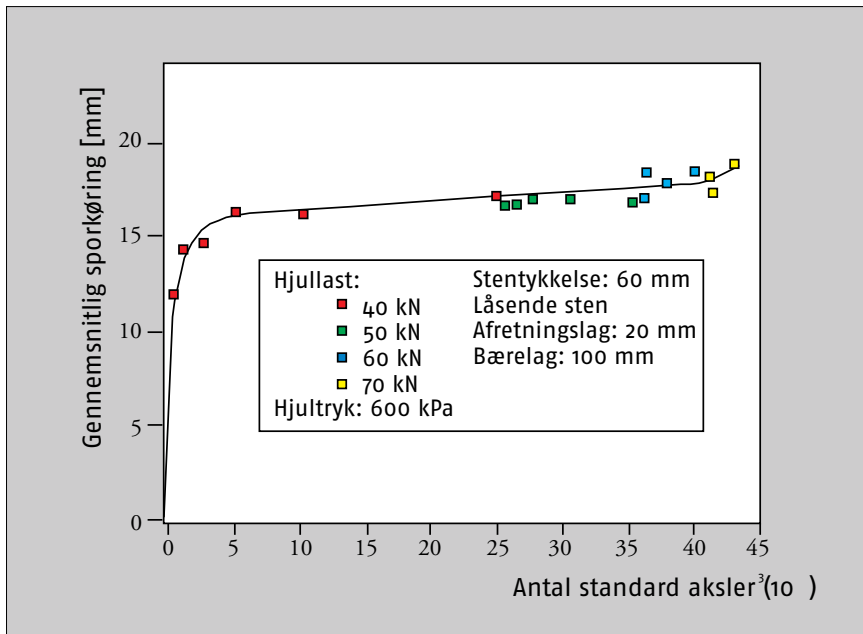
I forbindelse med dimensionering af befæstelser benyttes normalt materialernes E-modul eller E-værdi som udtryk for bæreevnen eller stivheden af det enkelte materiale. E-værdien for betonstenslaget afhænger af flere forhold, bl.a. af stentykkelse, form, fugemateriale og læggemønster. Derudover afhænger E-værdien også af, hvor megen trafik der har passeret befæstelsen. For betonsten stiger E-værdien efterhånden som trafikken passerer den. Ved udlægningen er E-værdien i størrelsesordenen 500-1.000 MPa, men stiger i løbet af de første 1.000-10.000 passager til omkring 3.000-6.000 MPa. Dette skyldes, at stenene kiles sammen og fugerne komprimeres. Dette fænomen kaldes for "lock-up" og er blandt andet illustreret ved forsøg med en "Heavy vehicle simulator".



Figur 3.8. "Heavy vehicle simulator" som benyttes til test af belægninger. Midt i køretøjet er der monteret et hjul der kører frem og tilbage. Hjulet belastes, og der kan således hurtigt simulere mange lastbiler sammenlignet med den tid det ville tage hvis den "almindelige trafik" skulle benyttes.



Det er normalt for de fleste typer belægninger, at udviklingen af sporkøring aftager efter kort tid, men for befæstelser med betonsten sker der sideløbende en stigning i E-værdien (bæreevnen), således at lasten på belægningen kan øges uden at sporkøringen øges tilsvarende.



Stigning i E-værdien

Figur 3.7. Forsøg med "Heavy vehicle simulator", der viser, at når belægningen har været trafikeret i en periode, kan lasten øges uden at sporkøringen øges tilsvarende. Dette skyldes en stigning i belægningens E-værdi, og dermed bæreevne. Fra "Design and construction of interlocking concrete block pavement".

### 3.3.3 Trafikbelastede arealer

Belægninger med betonsten dimensioneres ud fra "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger". I det følgende er standardbefæstelserne med videre fra vejreglen gengivet.

#### 3.3.3.1 Trafikklasser, underbund med videre

Der er opstillet standardbefæstelser med betonsten for 6 forskellige trafikklasser (T0-T5).

Trafikklasser

Trafikklasser	Lastbiler på vejen pr. døgn i begge retninger tilsammen	Æ 10 aksler pr. dag pr. spor (øvre grænse)	Æ 10 pr. år pr. spor
T0	Kun lette køretøjer	-	-
T1	< 1	0,5	75
T2	1-75	20	7.300
T3	75-150	50	18.300
T4	150-600	200	73.000
T5	600-1.400	500	180.000

Tabel 3.2. Af tabellen fremgår de 6 trafikklasser, som der er udarbejdet standardbefæstelser for. For trafikklasse T3-T5 samt for store anlæg bør der søges kompetent rådgivning.

Der skal, ved fastlæggelse af trafiklasten, tages hensyn til forskellige forhold som kanaliseret trafik, rundkørsler med videre, se nærmere herom i "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger". Den samlede befæstelsestykkel fastlægges ud fra hensynet til frosthævningsrisiko i kombination med trafikklassen. Hvis underbunden ikke kan fastlægges ud fra erfaringer, bør jordbundsforholdene undersøges nærmere. Er underbundens opfrysningrisiko ikke bestemt på anden måde, kan vejledningen i nedenstående tabel benyttes.

Fastlæggelse af bundsikringslag

Risikogruppe	Frostsikker	Frosttvivlsom	Frostfarlig
Materiale-typer	Sand og grus uden betydende partier af silt og siltholdigt ler	Moræneler og ler [mm]	Silt og meget siltholdige jordarter med mulighed for vandtilførsel [mm]
Trafik-klasse			
T0, T1	Som angivet i tabellen med standardbefæstelser, dog uden BL	400	500
T2		500	600
T3		600	700
T4, T5		700	900

Tabel 3.3. Den minimale overbygningstykkel fastsættes ud fra trafikbelastning og underbund. (BL = bundsikringslag).

Når underbundens E-værdi er mindre end 100 MPa, skal der etableres et bundsikringslag, så den minimale overbygningstykkel i tabellen overholdes.

Standardbefæstelserne forudsætter følgende E-værdier:

Materiale	GAB I 70/100	Stabilt grus	Bundsikringslag eller underbund
E-værdi [MPa]	2.000/3.000 <sup>1</sup>	300	100

Tabel 3.4. E-værdier for bærelag og underbund/bundsikring.  
<sup>1</sup>E-værdi når laget er min. 100 mm under belægningens overflade.

### 3.3.3.2 Materialeparametre for betonsten

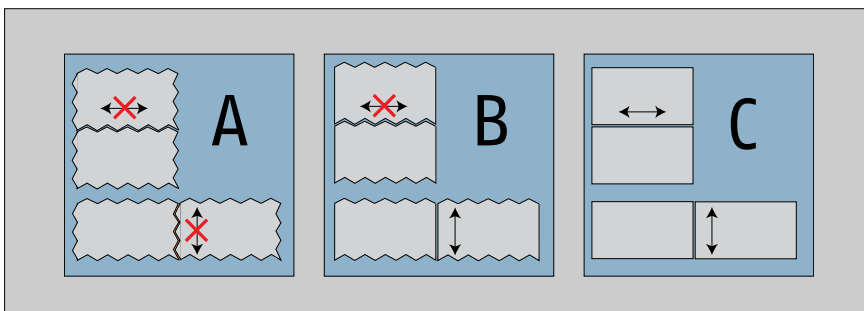
For befæstelser med betonsten er det formen, tykkelsen og læggemønsteret, der har indflydelse på belægningens formåen. Betonsten defineres i vejreglen som følger:

Længde/tykkelse  $\leq 4$   
 Arealet af stenen  $\leq 1 \text{ m}^2$

Med dimensioner udover dette er der tale om betonfliser og de viste katalogbefæstelser med videre vil derfor ikke være gældende herfor.

Der eksisterer mange forskellige udformninger af betonsten, men i vejreglen skelnes mellem følgende tre hovedtyper:

- Type A Fortandede sten der griber ind i hinanden og derved modvirker bevægelser mellem stenene i såvel tvær- som længdeaksen. Kan som hovedregel lægges i vinkelforbandt.
- Type B Fortandede sten der griber ind i hinanden og derved modvirker bevægelser mellem stenene i én retning. I den anden retning er sammenlåsningen afhængig af den nøjagtighed de er fremstillet og lagt med. Kan som hovedregel kun lægges i løberforbandt.
- Type C Sten der ikke har nogen fortanding. Sammenhængen mellem stenene er afhængig af den nøjagtighed de er fremstillet og lagt med. Hvilket læggemønster type C sten kan lægges i, er meget afhængigt af den enkelte stens udformning.



Figur 3.9. Der skelnes mellem tre hovedtyper af sten, alt efter hvor god låsevirkning de har.

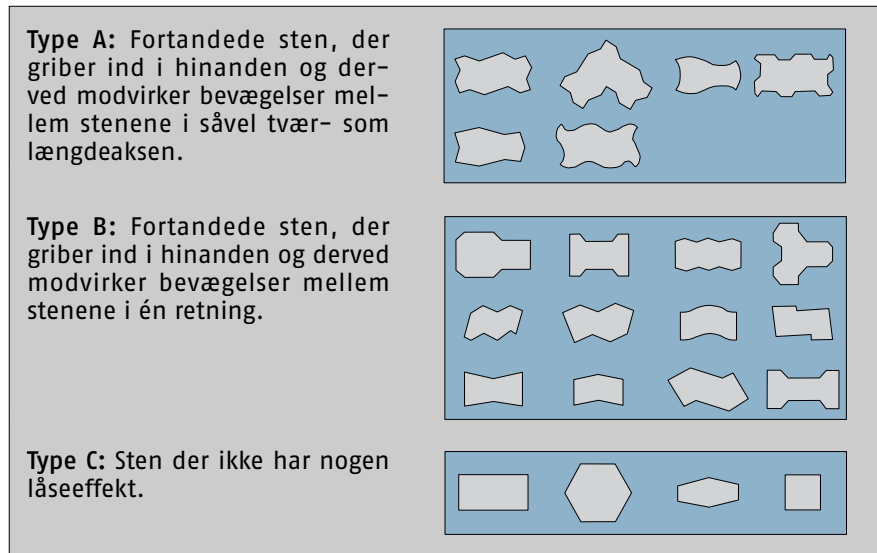
I følgende figur er der vist eksempler på de forskellige stentyper. Ikke alle sten passer direkte ind i definitionen, eksempelvis vil nogle type B sten der låser i f.eks. tværretningen kun låse den ene vej og ikke den anden.

E-værdier for bærelag og bundsikring

Definition af betonsten

Type A, B og C sten

Stentyper

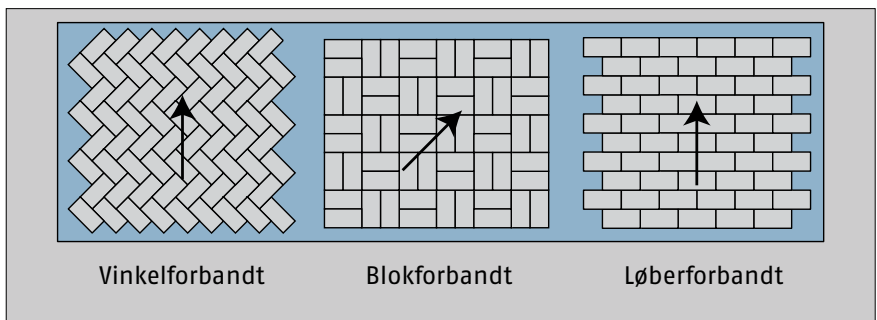


Figur 3.10. Eksempler på de tre hovedtyper af sten (A, B og C).

Med hensyn til læggemønster eksisterer der grundlæggende tre hovedtyper: vinkelforbandt, blokforbandt og løberforbandt.

Optimale kørselsretninger

Læggemønstre



Figur 3.11. Der eksisterer grundlæggende 3 typer læggemønstre, vinkelforbandt (sildebensmønster), blokforbandt og løberforbandt. Pilen angiver den optimale kørselsretning.

Vinkelforbandtet er alt andet lige det mest effektive til at modstå trafikens påvirkninger (specielt horisontale kræfter fra bremsende, accelererende og svingende trafik). Derefter kommer blokforbandtet og til sidst løberforbandtet.

Der bør altid vælges det mest effektive mønster, som det er muligt at lægge den aktuelle sten i.

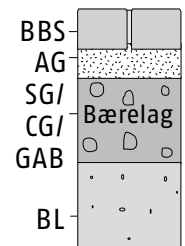
### 3.3.3.3 Opbygning af befæstelser

I følgende tabel er der angivet standardbefæstelser for såvel 10 som 20 års trafik på frosttålsom underbund. Befæstelserne er gengivet fra "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægnings". For trafikklasse T3-T5 samt for store anlæg bør der søges kompetent rådgivning.

Det er en forudsætning for opbygningerne, at arbejdet er udført håndværksmæssigt korrekt, se senere afsnit om udførelse af belægnings. Endvidere er disse opbygninger kun gældende for betonsten, jf. definitionen.

Nederst i tabellen ses de anbefalede stentyper afhængig af trafikmængden. Der kan dog vælges andre stentyper, forudsat at der tages hensyn til dette ved fastlæggelse af bærelag, læggemønster med videre eller ud fra erfaringsgrundlag.

Levetid	Trafikklasse					
	To	T1	T2	T3	T4	T5
	Lastbiler pr. døgn i begge retninger tilsammen					
	Kun lette køretøjer	<1	1-75	75-150	150-600	600-1400
	Æ10 pr. dag pr. spor (øvre grænse)					
	0	0	20	50	200	500
Betonsten og stabilt grus						
10 års trafik	60 BBS 30 AG 120 SG 150 BL	60 BBS 30 AG 120 SG 190 BL	80 BBS 30 AG 190 SG 200 BL	80 BBS 30 AG 240 SG 250 BL	80 BBS 30 AG 290 SG 300 BL	90 BBS 30 AG 330 SG 250 BL
20 års trafik	60 BBS 30 AG 120 SG 150 BL	60 BBS 30 AL 120 SG 190 BL	80 BBS 30 AG 240 SG 150 BL	80 BBS 30 AG 270 SG 220 BL	80 BBS 30 AG 330 SG 260 BL	90 BBS 30 AG 370 SG 210 BL
Betonsten og cementbundet (hydraulisk bundet) grus						
10 års trafik		60 BBS 30 AG 120 HBB 190 BL	80 BBS 30 AG 135 HBB 255 BL	80 BBS 30 AG 155 HBB 335 BL	80 BBS 30 AG 175 HBB 415 BL	90 BBS 30 AG 210 HBB 370 BL
20 års trafik		60 BBS 30 AG 120 HBB 190 BL	80 BBS 30 AG 155 HBB 235 BL	80 BBS 30 AG 170 HBB 320 BL	80 BBS 30 AG 195 HBB 395 BL	90 BBS 30 AG 230 HBB 350 BL
Betonsten og asfalt						
10 års trafik		60 BBS 30 AG 80 GAB I 70/100 230 BL	80 BBS 30 AG 95 GAB I 70/100 295 BL	80 BBS 30 AG 110 GAB I 70/100 380 BL	80 BBS 30 AG 130 GAB I 70/100 460 BL	90 BBS 30 AG 145 GAB I 70/100 435 BL
20 års trafik		60 BBS 30 AG 80 GAB I 70/100 230 BL	80 BBS 30 AG 110 GAB I 70/100 280 BL	80 BBS 30 AG 125 GAB I 70/100 365 BL	80 BBS 30 AG 140 GAB I 70/100 450 BL	90 BBS 30 AG 155 GAB I 70/100 425 BL
Anbefalet stentype						
	A, B, C	A, B, C	A, B, C	A, B	A	A
	Vælges andre stentyper end de anbefalede, bør kompetent rådgivning indhentes for at sikre belægningens funktionsegenskaber.					
	BBS: betonbelægningssten/betonsten, AG: afretningsgrus, SG: stabilt grus, HBB: hydraulisk bundet bærelag, GAB: grusasfaltbeton, BL: Bundsikringslag.					



Anbefalede stentyper

Tabel 3.5. Standardbefæstelser med betonsten på frosttvivlsom underbund. Mål i mm. Fra "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger". I trafikklasse To skal der træffes foranstaltning mod at tunge køretøjer (f.eks. snerydningsmateriel) færdes på arealet. For forklaring af stentyper se afsnit "3.3.3.2 Materialeparametre for betonsten".

## 3.3.3.4 Trafikbelastede arealer med betonfliser

Standardbefæstelserne i foregående afsnit omhandler kun befæstelser med betonsten, der er defineret som følger:

Længde/tykkelse  $\leq 4$   
 Arealet af stenen  $\leq 1 \text{ m}^2$

Denne definition inkluderer eksempelvis også en 300 x 300 x 80 mm betonflise – hvilket er tilsigtet. Det er dog også muligt at benytte større betonfliser på trafikbelastede arealer, men generelt bør det, for betonfliser med et længde-/tykkelsesforhold større end 4, tilstræbes at jo større forholdet er, jo mindre trafikbelastning tillades der.

### Opbygning af befæstelse

Der eksisterer ikke nogen vejledning for dimensionering/opbygning af befæstelser med betonfliser i "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger".

Det er derfor valgt i denne håndbog at vise eksempler på veje med betonfliser, der har fungeret tilfredsstillende. Det viste er blot et lille udpluk, der skal vise nogle mulige løsninger.

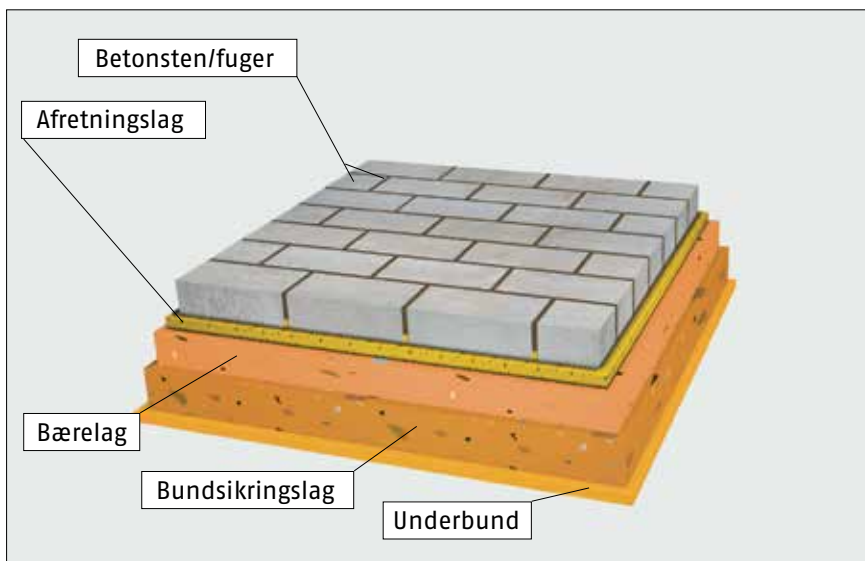
Generelt bør flisetykkelsen ikke være mindre end 100 mm, hvis der skal køre busser og lastbiler på belægningen og endvidere bør der ikke benyttes meget aflange betonfliser. Jo større fliser der benyttes jo større skal tykkelsen være. Større betonfliser er mindre stabile end betonsten, og bør derfor anvendes med omtanke hvor der forekommer store vridende kræfter, eksempelvis hvor lastbiler og busser vender eller svinger skarpt. Som med betonsten er det yderst vigtigt at fugerne er opbygget korrekt.

By	Hammel	Langå
Flisedimension	800 x 500 mm	400 x 400 mm
Opbygning	100 mm betonfliser 50 mm tørbeton eksisterende asfalt	80 mm betonfliser 30-40 AG 150 CG 150 SG 300-500 BS
Lastbiler pr. døgn i begge retninger	10	100
Alder	16 år	6 år
By	Hjørring	Hjørring
Flisedimension	600 x 600 mm	600 x 600 mm
Opbygning	100 mm betonfliser 50 AG 250 SG 300 BS	100 mm betonfliser 50 AG 250 SG 300 BS
Lastbiler pr. døgn i begge retninger	Ca. 15	Ca. 180
Alder	10 år	10 år

Tabel 3.6. Eksempler på opbygninger med betonfliser.

## 3.4 Projektering og udførelse af trafikerede befæstelser

Alle de forskellige lag, der indgår i opbygningen af befæstelsen, bør opfylde kravene i vejreglernes udbuds- og anlægsforskrifter. Dette gælder for såvel underbund, bundsikring og bærelag. Benævnelserne for de forskellige lag i vejen fremgår af nedenstående figur.



Figur 3.12. Af figuren fremgår de forskellige benævnelser i befæstelsen.

### 3.4.1 Underbunden

Underbunden skal udføres og kontrolleres i henhold til "Udbudsforskrifter for jordarbejder".

#### Komprimering

Underbunden skal komprimeres i overensstemmelse med de i tabellen anførte krav. Ved afgravning er der kun krav til de øverste 0,2 m.

Dybde under færdig vejoverflade	Minimum komprimeringsgrad	
	Kohæsionsjord (proctor)	Friktionsjord (vibration)
Dybde > 2 m	92 %	92 %
Dybde ≤ 2 m	96 %	95 %

Tabel 3.7. Komprimeringskrav til underbunden. "Udbudsforskrifter for jordarbejder".

Komprimeringskontrol



Figur 3.13. De forskellige lags komprimering kontrolleres oftest med en isotop-sonde. "Spydet" føres ned i jorden og jordens vandindhold og vådrumvægt bestemmes, og holdes op mod værdierne fundet i laboratoriet.

**Bæreevne**

Bæreevnen af forskellige typer underbund kan bestemmes ud fra pladebelastningsforsøg eller faldlodsforsøg. Her måler man lagenes stivhed eller E-værdi. Er dette ikke muligt, kan de vejledende værdier i "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger" benyttes, se nedenstående tabel. Underbundens E-værdi og sammensætning er vigtig for dimensionering af de ovenliggende lag.

E-værdier for underbunden

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

Tabel 3.8. Vejledende E-værdier for forskellige typer underbund. Fra "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger".



### Jævnhed og profil

Der må ikke være større afvigelser fra det forudsatte profil end 40 mm, og afvigelserne må ikke være ensidige. Dette kontrolleres ved at nivelere alle tværprofillets knæpunkter for hver 20. meter.

Råjordsplanum skal være afrettet til en sådan jævnhed, at der ikke kan forekomme vandansamlinger.



Maks. 40 mm afvigelse  
 fra det forudsatte profil

## 3.4.2 Bundsikringslag

Bundsikringslaget har flere formål:

- Det skal skabe afstand til underbunden og dermed reducere eller forhindre frostens indtrængning i underbunden, så der ikke opstår frost- og tøjbrudsskader.
- Det skal virke belastningsfordelende, således at underbunden ikke overbelastes.
- Det skal virke kapillaritetsbrydende og drænende, så bærelag med videre kan afvandes og ikke opblødes.
- Det skal udgøre et bæredygtigt underlag for de overliggende bærelag.

For at opfylde disse formål, skal bundsikringslaget opfylde kravene i "Udbuds- og anlægfskrifter for bundsikring af sand og grus". Her i defineres to kvaliteter, hvor forskellen bl.a. er indholdet af finstof, som har indflydelse på permeabiliteten, dvs. evnen til at dræne vand væk. Kvalitet I er med mindre finstof og dermed bedre drænegenskaber end kvalitet II.

Består underbunden af sand eller grus, kan bundsikringslaget undværes, da underbunden selv kan opfylde ovennævnte punkter.



Figur 3.14. Bundsikringsgrus. (Foto: Torben Dam)

### Komprimering

Bundsikringslaget skal komprimeres, så komprimeringsgraden bliver min. 92 %-vibration i min. 90 % af laget. Dette kan kontrolleres ved en gennemsnit/mindsteværdi bedømmelse eller en statistisk bedømmelse, jf. "Udbuds- og anlægfskrifter for bundsikring af sand og grus".

min. 92 %-vibration i  
 min. 90 % af laget

E-værdi for bundsikringsgrus



Maks.  $\pm 20$  mm afvigelser fra det foreskrevne profil

Kontrolregel ved gennemsnit/mindsteværdi		Kontrolregel ved statistisk bedømmelse
%vibration		%vibration
Gns.	Min.	K
> 95	92	92

Tabel 3.9. Komprimeringskrav til bundsikringslaget. Fra "Udbuds- og anlægsskriterier for bundsikring af sand og grus".

### Bæreevne

For bundsikringsgrus kan der regnes med en E-værdi på 100 MPa, jf. "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger".

### Jævnhed og profil

Jævnheden af bundsikringslaget er grundlaget for en tilfredsstillende jævnhed af de overliggende lag.

Overfladen af bundsikringslaget kontrolleres ved nivellement og må ikke fravige det foreskrevne profil med mere end  $\pm 20$  mm, og afvigelserne må ikke være ensidigt for høje - det vil sige at laget ikke generelt må være for tykt. Hvis bundsikringslaget generelt er tykkere end projekteret vil bærelaget blive for tyndt, da den færdige vejkode normalt er fastlagt på forhånd. Resultatet vil således være en vej med lavere bæreevne end projekteret.

## 3.4.3 Bærelag

Som bærelag for betonsten kan der benyttes såvel bundne (f.eks. asfalt eller cementstabiliseret grus) som ubundne materialer (f.eks. stabilt grus) samt knuste materialer (f.eks. knust beton).



Figur 3.15. Stabilt grus. (Foto: Torben Dam)

### 3.4.3.1 Ubundne lag

Ubundne bærelag vil i Danmark typisk være stabilt grus. I vejreglerne skelner man mellem to kvaliteter; stabilt grus I og stabilt grus II. Stabilt gruslaget skal opfylde kravene til materiale og udførelse i "Udbuds- og anlægsskriterier for ubundne bærelag af stabilt grus".

## Komprimering

Bærelag af stabilt grus skal komprimeres til min. 92 %-vibration i min. 90 % af laget, jf. "Udbuds- og anlægsforskrifter for ubundne bærelag af stabilt grus". Dette kan kontrolleres ved en gennemsnit/mindsteværdi bedømmelse eller en statistisk bedømmelse, som vist i tabellen.

Kontrolregel ved gennemsnit/mindsteværdi		Kontrolregel ved statistisk bedømmelse
%vibration		%vibration
Gns.	Min.	K
> 95	92	92

Tabel 3.10. Komprimeringskrav til stabilt gruslag. Fra "Udbuds- og anlægsforskrifter for ubundne bærelag af stabilt grus".

## Bæreevne

Stabilt grus regnes normalt at have en E-værdi på 300 MPa (stabilt grus II), eller 350 MPa (stabilt grus I) jf. "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger".

## Jævnhed og profil

Jævnheden af det øverste bærelag bestemmer i høj grad jævnheden af betonstenslaget, når dette er taget i anvendelse. Overfladen af stabilt grus bærelaget må således ikke fravige det foreskrevne profil med mere end  $\pm 10$  mm, se "Udbuds- og anlægsforskrifter for ubundne bærelag af stabilt grus". Opfylder overfladen af bærelaget ikke dette krav, skal der ændres på bærelaget - der må ikke benyttes tykkere afretningslag. For at opnå det bedste resultat kan stabil gruset rettes af med retskinne inden det komprimeres, jo mere jævnt det er jo færre sætninger med videre vil der med tiden kunne opstå.

### 3.4.3.2 Bundne bærelag

Bundne bærelag er hovedsageligt asfalt- eller cementbundne bærelag. Karakteristisk for begge typer er, at deres bæreevne er væsentlig større end bæreevnen af stabilt grus.

#### Cementbundne lag

Bærelag med hydraulisk bindemiddel, det vil i praksis sige cementbundet grus, skal opfylde kravene i "Udbuds- og anlægsforskrifter. Hydraulisk bundne bærelag".



Figur 3.16. Cementbundet stabilt grus lige efter iblanding af cement.

#### E-værdi for stabilt grus



Maks.  $\pm 10$  mm afvigelser fra det foreskrevne profil

E-værdi for cementbundet grus

E-værdien for cementbundet grus er 7.200 – 23.000 MPa, jf. "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger", afhængig af styrkeklassen. Normalt anvendes styrkeklasse  $C_{8/10}$  som kan regnes at have en E-værdi på 15.000 MPa.

### Asfaltbærelag

Som asfaltbærelag benyttes grusasfaltbeton, normalt GAB I. Asfalten kan fås med forskellige hårdheder, alt efter hvilken bitumen der er anvendt som bindemiddel. Hårdheden udtrykkes ved den penetrationsdybde der opnås ved et standardiseret forsøg, hvor en belastet nål synker ned i bitumen. Jo større penetrationsdybde (højere tal) jo blødere er asfalten. Som bærelag under betonsten og -fliser benyttes normalt en GAB I med bitumen 70/100. GAB I lag skal opfylde kravene i "Udbuds-forskrifter for Varmblandet asfalt".

E-værdien for GAB I kan regnes til værdierne i tabellen. Der skal regnes med forskellige værdier, alt efter hvor langt nede i befæstelsen GAB-laget ligger.

Krav til udlægning, jævnhed og profil fremgår af "Udbudsforskrifter for Varmblandet asfalt".

E-værdi for GAB I

E-værdi i dybde under vejoverfladen	GAB I 70/100	GAB I 40/60
≤ 10 cm	2.000	3.000
> 10 cm	3.000	5.000

Tabel 3.11. E-værdier for GAB I lag afhængig af dybde. Fra "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger".

### 3.4.3.3 Bærelag af knust beton, asfalt og tegl

Der bliver ofte benyttet genbrugsmaterialer som knust asfalt, beton og tegl til bærelag og bundsikring. Knust asfalt, tegl og beton skal opfylde kravene i "Udbuds- og anlægsforskrifter. Ubundne bærelag af knust asfalt og beton" og "Udbuds- og anlægsforskrifter. Ubundne bærelag af knust beton og tegl".

#### Knust asfalt og knust beton

E-værdi for knust asfalt

E-værdien for knust asfalt forudsættes at være 250 MPa jf. "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger". Knust asfalt bør ikke benyttes ved større vedvarende statiske belastninger, da det vil give deformationer. Der kan også anvendes en blanding af knust asfalt og knust beton.

#### Knust beton og knust tegl

E-værdi for knust beton

Med en kornkurve som stabilt grus kan knust beton regnes at have en E-værdi på 400 MPa afhængig af kvaliteten jf. "Vejregel for dimensionering af befæstelser og forstærkningsbelægninger". Der kan også anvendes en blanding af knust beton og knust tegl.



Figur 3.17. Knust beton.

Knust beton

#### 3.4.3.4 Sættemateriale til kantsten med videre

Sættematerialet når der sættes kantsten eller trappetrin er typisk jordfugtig beton. Det er vigtigt at sikre, at den jordfugtige beton opbevares korrekt og benyttes inden afbinding har fundet sted. Betonen skal straks efter udstøbning beskyttes mod udtørring og frost, indtil den har opnået en ækvivalent hærdealder på mindst 3 døgn ved 20 °C, jf. "Udbudsforskrifter for brolægning".

Fabriksbeton skal minimum have styrkeklasse 16 MPa, jf. "DS 1136". Pladsblandet beton skal være blandet 1:3:5 (cement:grus:ærtsten).

Jordfugtig beton skal beskyttes mod udtørring og frost



Figur 3.18. Jordfugtig beton.

Jordfugtig beton

Planlæg  
lægningsarbejdet

## 3.4.4 Betonstenslag

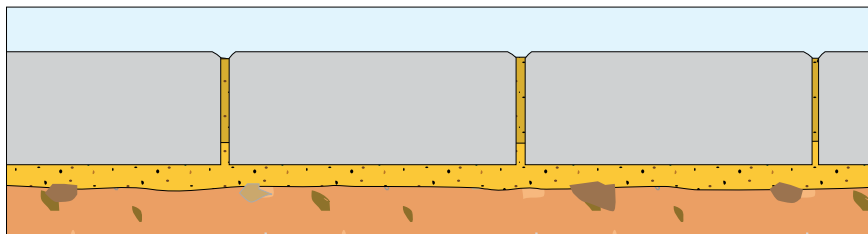
Betonstenslaget omfatter både afretningslag, fuger og selve betonstenene. Laget kan udføres i henhold til "Udbudsforskrifter for brolægning" eller "DS 1136". I det følgende bringes en mere udførlig vejledning end i "Udbudsforskrifter for brolægning" og "DS 1136".

Allerede på projekteringsstadiet bør der vælges stentype, farve og læggemønster ud fra designmæssige aspekter. Er der tale om befæstelser, hvor der må forventes en stor belastning, skal der tages hensyn til dette ved valg af stentype (tykkelse og form) og læggemønster.

Det vil være hensigtsmæssigt, at udarbejde en detaljeret plan over, hvordan lægningsarbejdet skal udføres, for blandt andet at minimere skærearbejdet og derved højne det æstetiske indtryk.

### 3.4.4.1 Afretningslag

Afretningslaget er underlag for betonstenene, og har flere formål. Det primære formål er, at udjævne de mindre ujævnheder der altid vil være på bærelagets overflade. Derudover skal det udligne de små variationer i tykkelsen (normalt  $\pm 1$  mm, maks.  $\pm 2,5$  mm) som stenene har, og virke som trykfordelende lag mellem betonsten og bærelag.



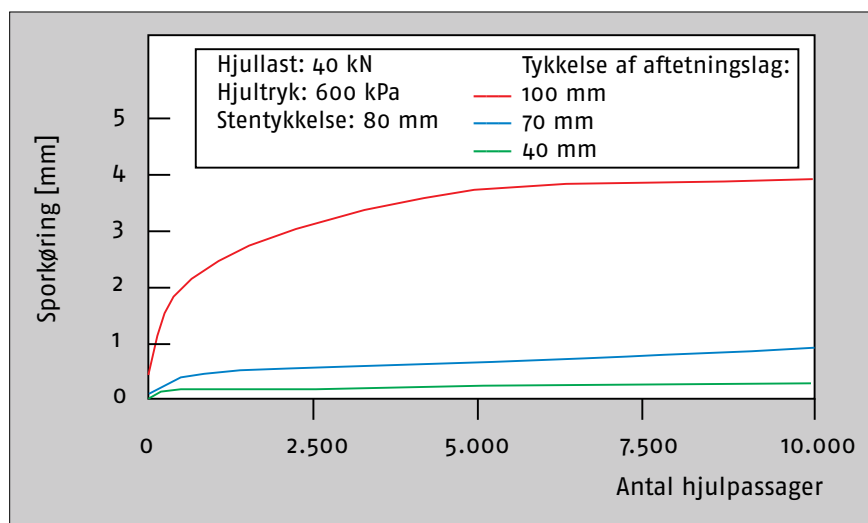
Figur 3.19. Afretningslagets primære funktion er at udligne mindre ujævnheder i bærelaget.

#### Tykkelse

Afretningslagets tykkelse skal i henhold til "DS 1136" have en færdig tykkelse på  $30 \pm 10$  mm. Mindstetykkelsen på 20 mm er nødvendig, for at kunne udligne de små ujævnheder der er i bærelaget og de højdeforskelle der kan være på stenene, mens maksimal tykkelsen på 40 mm er nødvendig, for at minimere sporkøringen. Forsøg viser, at sporkøringen forøges væsentlig når tykkelsen af afretningslaget øges. Denne sporkøring kan derfor reduceres ved at anvende et forholdsvis tyndt afretningslag, se nedenstående figur.

Færdig tykkelse  
 $30 \pm 10$  mm

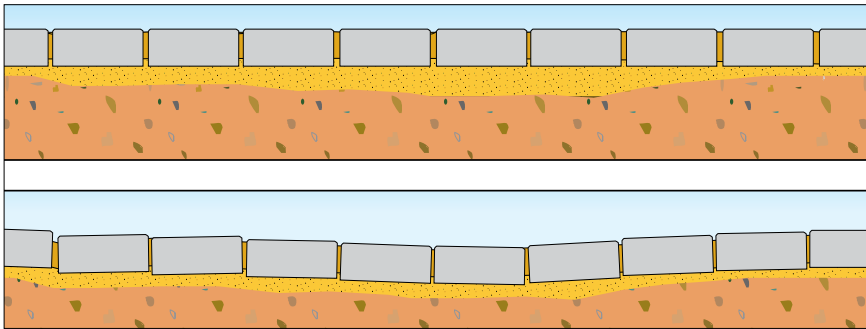
Sporkøring



Figur 3.20. Sporkøring forøges når tykkelsen af afretningslaget øges. Fra "Design and construction of concrete block pavements".

## Jævnhed

Jævnhedskravet til betonstenoverfladen er 10 mm målt fra en 3 meter rets kinne. Da afretningslagets tykkelse er begrænset, medfører det, at overfladen af bærelaget også bør opfylde dette krav, da der ikke er mulighed for at udligne større ujævnheder. Opfylder overfladen af bærelaget ikke dette krav, skal der ændres på bærelaget – der må ikke benyttes tykkere afretningslag. Det er vigtigt at undgå store variationer i tykkelsen af afretningslaget. Det skyldes, som nævnt ovenfor, at der i dette lag kan opstå en del deformationer, og store variationer i tykkelsen ville derfor give væsentlige ujævnheder/lunker.



Figur 3.21. Belægning før og efter trafikering. Ujævnheder pga. store variationer i tykkelsen af afretningslaget.



Figur 3.22. Udstyr til afretning. Afretningen kan også blot foretages med et lige bræt og ledeskinner i form af jernrør der lægges i afretningslaget.

## Materiale

Til afretningslaget skal der anvendes afretningsgrus, også kaldet bro-læggergrus, i henhold til "DS 1136".

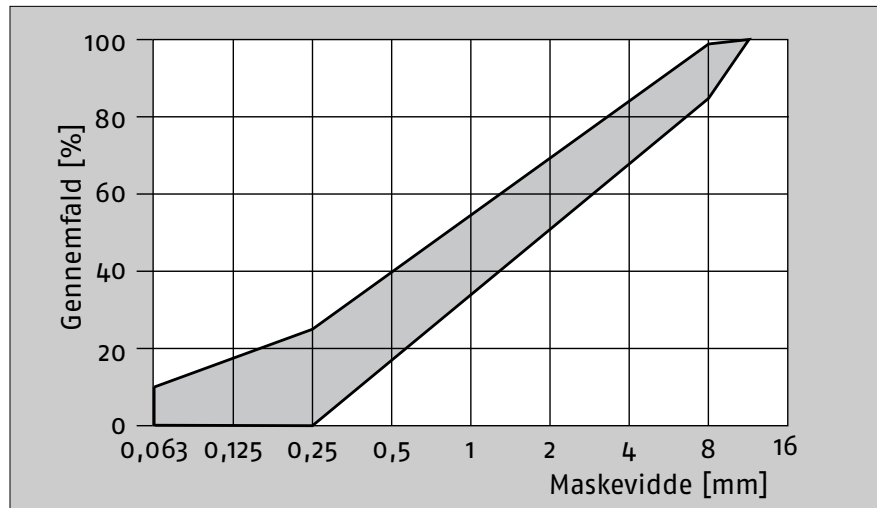
Der bør ikke anvendes stenmel, da det kan danne et stift lag pga. den sammenbinding der sker, hvilket ikke er hensigtsmæssigt. Der kan anvendes materiale med kornkurve som angivet i "Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde", se også figur 3.22 på næste side.

Før afretningslaget lægges ud kontrolleres det, at bærelagsmaterialet og afretningsgruset er korrekt afstemt i forhold til hinanden, således at afretningslaget ikke forsvinder ned i bærelaget. Anvendes almindeligt stabilt grus som bærelag er dette ikke noget problem. Alternativt kan der indlægges en fiberduk for at holde lagene adskilt.

Der anvendes af og til bundne materialer i afretningslaget og i fugerne. Det kan være cement- eller trasskalkbundet sand. Dette frarådes som regel, fordi den nu stive belægning let vil få revner og sprækker på grund af trafikbelastningen. Anvendes bundne materialer anbefales det, at også bærelaget er bundet og dermed forholdsvis stift.

Konsekvenser af store variationer i afretningslaget

Kornkurve for afretningsgrus



Figur 3.23. Afretningsgruset skal overholde anvisningerne i "DS 1136". Udover kornkurven skal følgende opfyldes: Sandækvivalent  $SE \geq 30$ , uensformighedstal  $U \geq 3$ , indhold af uknuste korn maks. 30 %.

### Komprimering

Når afretningslaget er udlagt, skal der ikke foretages komprimering. Ved at undlade komprimering af afretningslaget har forsøg vist, at komprimeringen af fugerne bliver mere optimal, når stenene senere vibreres. Dette er også normal praksis flere steder i udlandet. Afretningslaget vil også blive komprimeret i forbindelse med vibration af stenene.



Figur 3.24. Afretningsgrus.

### 3.4.4.2 Betonsten og lægning

Betonstens tykkelse og form har stor indflydelse på stabiliteten og levetiden af belægningen, og skal vælges ud fra den forventede belastning på befæstelsen. Den minimale anbefalede stentykkelse afhænger af trafikbelastningen, se nærmere i afsnittet "3.3.3 Dimensionering af befæstelser".

Forventes der store horisontale belastninger, fra eksempelvis nedbremsning og acceleration af store lastbiler og busser (eksempelvis ved busholdepladser, vejkryds, vendepladser med videre), bør der anvendes låsende sten. Stenene bør lægges i sildebensmønster hvis formen tillader det, jf. afsnit "2.2.3 Læggemønstre".

Ved afsætning af belægningens højde skal der tages hensyn til regler for niveauforskelle mellem belægningen og fugtspærre i soklen, 10 cm ved facader af uorganisk materiale f.eks. tegl og 20 cm ved træfacader, jf. "Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde".

Låsende sten ved store horisontale belastninger



## Lægning af betonsten

Ved lægning af stenene skal det sikres, at fugebredden er 2–5 mm jf. "Udbudsforskrift for brolægning". Derved undgås betonkontakt mellem stenene, og risikoen for kantafskalninger er således elimineret ved, at belægningen kan optage små bevægelser. Yderligere er det muligt for den udførende at holde linierne ved lægningen, og det er praktisk muligt at feje eller vande fugegrus med en kornstørrelse 0–4 mm ned i fugerne. Inden fugerne fyldes, kontrolleres det om fugeflugterne fremtræder tilfredsstillende.

Efter lægningen skal det kontrolleres, at overfladen har det rette fald mht. afvanding, og om længdeprofilet svarer til det projekterede. Stenene skal lægges med 15–25 mm overhøjde, hvis de efter komprimeringen skal have en overhøjde på 5–10 mm ved brønddæksler og lignende jf. "Udbudsforskrift for brolægning".

Overfladejævnheden kontrolleres ved nedstik fra en 3 meter retskinne, og må maksimalt være 10 mm. Der måles i længderetningen, mellem 2 understøtningspunkter.



Figur 3.25. Ujævnheden måles ved nedstik fra 3 m retskinne, i længderetningen mellem 2 understøtningspunkter.

Da afretningslagets tykkelse er begrænset, medfører det, at overfladen af bærelaget også bør opfylde dette krav, da der ikke er mulighed for at udligne større ujævnheder. Dette kræver normalt at bærelaget trækkes af med retskinne inden komprimering. Opfylder overfladen af bærelaget ikke dette krav, skal der ændres på bærelaget – der må ikke benyttes tykkere afretningslag. Se endvidere "DS 1136".

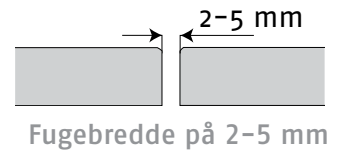
Lægningen kan foregå ved håndnedlægning eller maskinnedlægning/ manuelt betjent nedlægningsudstyr. Lægningshastigheden er afhængig af læggemetoden.

## Håndnedlægning

Når den enkelte sten placeres, kan den udførende, for at opnå den anbefalede fugebredde på 2–5 mm, for eksempel lade stenen glide lidt skråt på de udlagte sten, for eksempel lade stenen glide lidt skråt på de netop lagte sten.



Figur 3.26. Ved at lade stenen glide lidt skråt på de udlagte sten, kan der opnås en passende fuge. Udspænding af snore gør det let at opretholde flugterne.



Maks. 10 mm nedstik fra 3 m retskinne

Hyppig kontrol af fuger og flugter

Ved udførelse af belægningsarbejder, har man ofte hørt replikken "der er ikke to brolægger, der lægger stenene ens". Håndnedlægningen er et håndlag, som kan variere fra person til person. Dette kan imidlertid give forskellige fugebredder, såfremt der ikke foretages en hyppig kontrol af fuger og flugter. Det anbefales derfor, at der altid anvendes snore til kontrol af flugter, f.eks. for hver 3.-4. række sten.

### Maskinnedlægning

Vælger man maskinnedlægning skal man være opmærksom på, at stenene skal bestilles til maskinnedlægning. Ikke alle sten kan maskinnedlægges. Det er hovedsagligt ved store pladser og veje, at det kan betale sig at benytte maskinnedlægning.

Det er en udbredt misforståelse, at man ikke kan opnå den korrekte fugebredde ved maskinnedlægning. Betonstenene kan gribes for oven med maskinnedlæggerens tang, således at stenene hænger lidt nedad og der opstår små sprækker mellem stenene på undersiden. I det senere arbejde sænkes ned på afretningslaget, opnås at der presses lidt grus op i sprækken mellem stenene. Gruset sikrer, at der er passende fuger mellem stenene (2-5 mm), og at de dermed ikke forskybtes ved kørsel med maskinnedlæggeren oven på de allerede udlagte sten. Fugerne bør dog fyldes helt, efterhånden som arbejdet skrider frem.

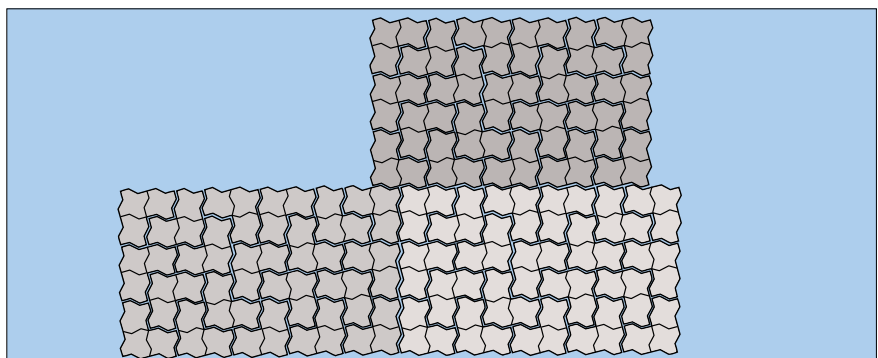
Hvis stenene omvendt gribes, således at stenene står opad i en bue, vil de fejlagtigt ligge for tæt, når de slippes på afretningslaget.

Ved maskinlægning er det ikke muligt at opnå samme ensartethed i fugebredden som ved håndnedlægning.

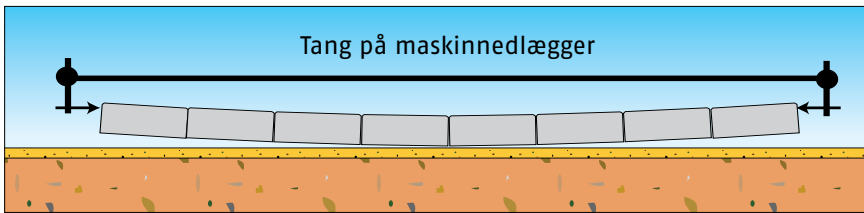
Læggefeltene skal forskydes så der opnås forbandt mellem dem. Eventuel gennemgående fuger skal gå på tværs af trafikretningen.



Figur 3.27. Maskinnedlægning af betonsten – hurtigt og effektivt.



Figur 3.28. De enkelte læggefelter skal forskydes.



Figur 3.29. Ved maskinnedlægning er det muligt at opnå korrekt fugebredde, såfremt stenene gribes foroven så de hænger nedad i en bue.

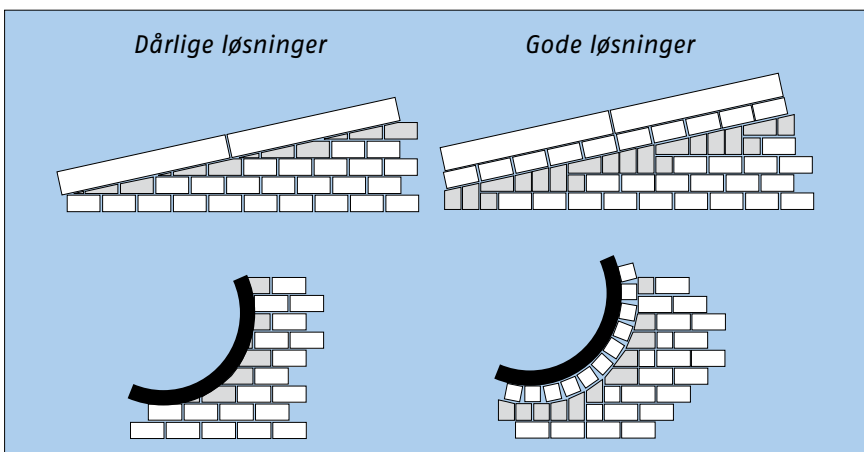
### Tilpasning

Skære- og tilpasningsarbejdet kan minimeres, hvis hoveddimensionerne for et byggeri og tilhørende færdselsarealer projekteres på modulmål, så eksempelvis afstanden mellem kantstenene på en vej svarer til et helt antal sten. Udover at tilpasningsarbejdet minimeres, højnes det æstetiske udtryk også, når belægningen ikke skæmmes af for mange tilpassede sten. Skal belægningen lægges på modulmål, vil det normalt skærpe tolerancekravet til stenene.



Figur 3.30. Betonsten og -fliser kan enten skæres eller klippes når de skal tilpasses.

Hvis det er nødvendigt at benytte passten ved at skære eller klippe hele sten, skal de tilpassede sten være større end 30 % af en hel sten jf. "Udbudsforskrift for brolægning". Desuden bør man undgå spidse passten. For at opfylde disse krav kan det være nødvendigt at ændre forbandet eller læggemønstret i nærheden af tilslutningen eller kanten. I figuren er der vist eksempler på såvel gode som dårlige løsninger.



Figur 3.31. Eksempler på gode og dårlige tilslutninger og kantløsninger.

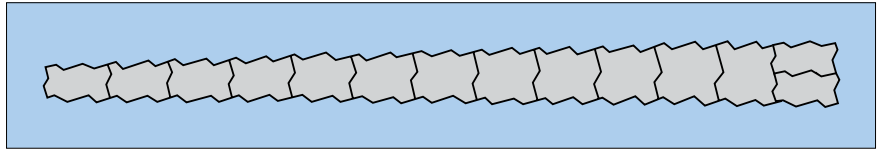
Minimering af tilpasningsarbejdet

Passten min. 30 % af hel sten

Kurvesæt

## Betonsten i kurver

I stærkt trafikerede kurver skal man være opmærksom på, at der kan opstå store horisontale kræfter fra tunge køretøjer. Det er derfor vigtigt, at stenene her har en god låsevirkning. Der kan fås specielle kurvesæt til de fleste stentyper, således at stenenes låsevne bibeholdes i kurverne.



Figur 3.32. Eksempel på kurvesæt.

## 3.4.4.3 Fuger

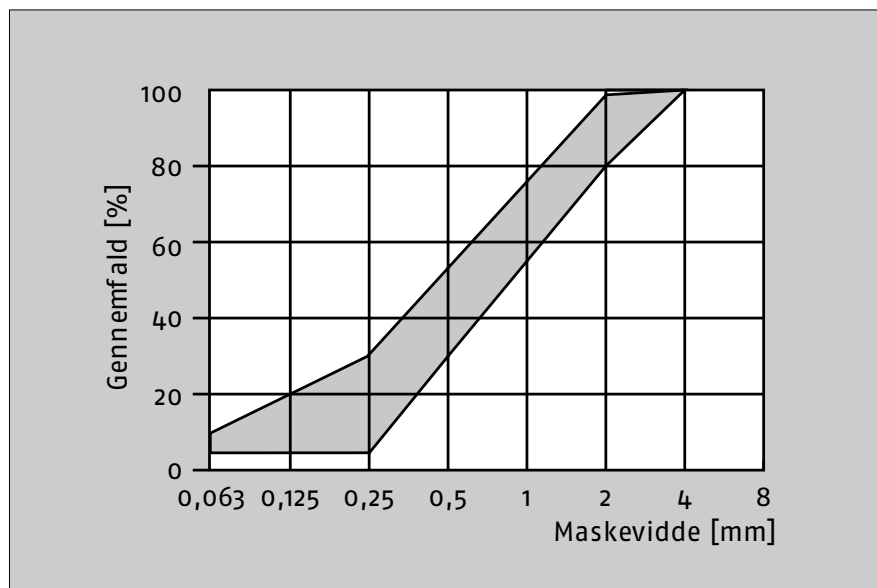
Fugens virkemåde med videre er nærmere beskrevet i afsnit "2.4 Fugens funktion".

Fugerne skal være 2–5 mm brede. Den nederste grænse sikrer, at fugegruset kan komme ned i fugen og hindrer betonkontakt og dermed kantafskalning, mens den øverste grænse sikrer, at der er en tilstrækkelig støtte og kraftoverførsel mellem stenene. En fugebredde i dette interval sikrer desuden, at fugen kan udligne de tolerancer stenene produceres og lægges med.

## Fugemateriale

Der bør benyttes 0–4 mm fugegrus, i henhold til "DS 1136".

Kornkurve for grus



Figur 3.33. Der skal benyttes fugegrus i henhold til "DS 1136".

De største af sandkornene, 3–4 mm, vil kile sig fast i fugerne og sikre god kraftoverføring mellem stenene og bidrage til at låse fugematerialet. Det er vigtigt at der sker en kraftoverførsel mellem stenene, således at trykket fra trafikken fordeles mest muligt.



Figur 3.34. Fugemateriale (0-4 mm bakkemateriale) i henhold til "Udbudsforskrift for brolægning".

### Fugefyldning

Der fejes korrekt fugegrus ned i fugerne, efterhånden som lægningsarbejdet skrider frem. For at få en effektiv fyldning er det vigtigt, at der benyttes helt tørt fugegrus. Er det blot en anelse fugtigt danner det "bro" mellem stenene, hvorved fyldningen forhindres. Belægningen fejes helt ren inden vibrering.

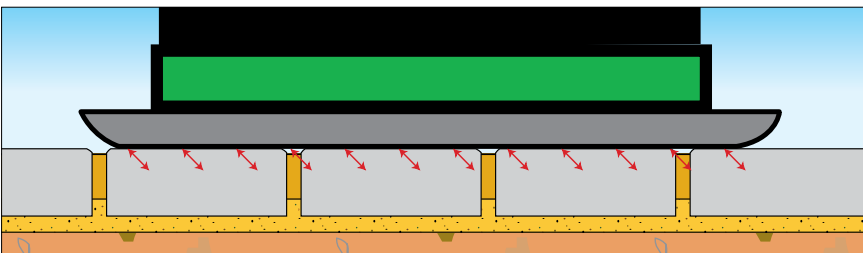


Figur 3.35. Fugegrus fejes i fugerne efterhånden som lægningen skrider frem.

Der køres med en pladevibrator én gang på tværs, der efterfyldes med fugegrus, og én gang på langs (der efterfyldes med fugegrus om nødvendigt). Der køres med 50 % overlap mellem de enkelte baner. Således bliver alle sten vibreret 2 gange i hver retning, hvorved både de langsgående og tværgående fuger bliver komprimeret.

Efter vibreringen kontrolleres det at alle fuger er fyldte og velkomprimerede. Benyt f.eks. en spartel (50 x 1 mm blad), den må kun kunne trykkes få mm ned.

Ved vibrering med pladevibrator vibreres stenene på plads, således at man får en plan flade. Ved vibreringen presses lidt grus fra afretningslaget op i fugerne.



Figur 3.36. Ved vibreringen trænger en del af afretningslaget op i fugerne.

50 % overlap på begge overkørsler

Brugen af geotekstiler direkte under betonsten frarådes

Benyt en forholdsvis tung pladevibrator med høj frekvens

Afhængig af grustype og vibrering fyldes fugerne 5–20 mm op nedfra. Det må derfor frarådes, at benytte geotekstiler under betonstenene. Det er ofte nødvendigt at fylde grus i fugerne af flere omgange. I vådt vejr kan det være nødvendigt, at vande fugematerialet ned. Det skal dog gøres med så små mængder vand som muligt, for at undgå opblødning af bærelaget. Fugegruset må ikke henligge på belægningen, da det giver risiko for afsmitninger.

### Egnede pladevibratører

For at opnå en optimal belægning skal man sikre sig, at vibreringen af stenen sker med det rigtige udstyr. På farvede sten og sten med en speciel overfladebehandling, må vibrering kun ske ved benyttelse af en kunststofplade under vibratoren.

Der bør benyttes en forholdsvis tung pladevibrator med en høj frekvens. Frekvensen og vægt er afgørende for, om vibratoren "hopper" på stenene, hvilket vil kunne ødelægge stenene. Der må aldrig benyttes vibrationstromler, da de ødelægger belægningen.



Figur 3.37. Det benyttes en stor pladevibrator på min. 180 kg til vibrering.

De følgende anbefalinger gælder kun vibrering af sten (længde/tykkelse < 4). Stenene skal lægges på et ikke-komprimeret afretningslag.

- Vægt: min. 180 kg
- Centrifugalkraft: max. 200 kN/m<sup>2</sup>
- Frekvens: min. 90 Hz.

Der køres én gang på langs, fugerne efterfyldes, og der køres én gang på tværs. Begge overkørsler med 50 % overlap.

På større arealer hvor større pladeareal er ønskeligt kan følgende vejledning anvendes:

- Vægt: 300 kg / 400 kg / 500 kg
- Centrifugalkraft: maks. 200 kN/m<sup>2</sup>
- Frekvens: min. 80 Hz / 70 Hz / 60 Hz.

Centrifugalkraften udregnes som slagkraften opgivet på maskinen delt med kontaktarealet mellem fliser og plade.

Eksempel:

Kraft opgivet på maskinen: 30 kN

Målt kontaktareal: 0,4 x 0,5 = 0,2 m<sup>2</sup>

Kraft pr. areal: 30/0,2 = 150 kN/m<sup>2</sup>.

## Geotekstiler

Geotekstiler, også kaldet fiberdug, benyttes i vejbygning for at adskille forskellige jordtyper, eksempelvis mellem afretningslaget og bærelaget. Hvis der benyttes et grovkornet bærelag, vil geotekstilet hindre afretningslaget i at forsvinde ned i bærelaget.

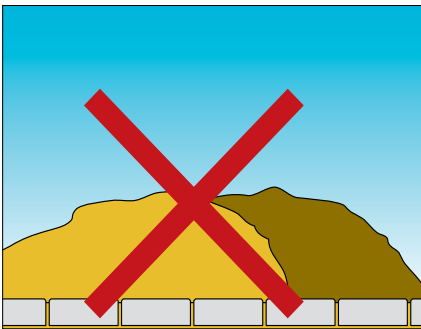
Geotekstiler giver ikke i sig selv en ekstra bæreevne i befæstelsen, men kan forhindre, at de enkelte lag blandes og styrken herved reduceres. Dette er dog normalt ikke noget problem. Geotekstiler bør imidlertid ikke benyttes direkte under stenene af flere grunde:

- Det hindrer afretningslaget i at blive presset op i fugen ved vibre-ring, og det besværliggør også fugefyldningen ovenfra.
- Det hindrer belægningens overflade i at blive helt jævn da det bliver sværere at presse stenene ned i afretningslaget ved vibre-ring af stenene.
- Risikoen for horisontale bevægelser af stenene forøges, da der er risiko for at stenene glider på geotekstilet.

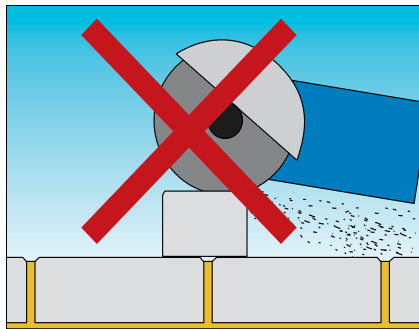
## Renholdelse under udførelsen

Det er vigtigt, at sørge for en god renholdelse af belægningen under udførelsen. Det skal undgås at belægningen bliver tilsmudset af sand og jord, der slæbes ind på belægningen af maskiner eller fodtøj. Sker det, skal belægningen renfejes og eventuelt rengøres med vand og kost. Det skyldes, at snavs kan bindes af kalkudfældninger, så de fremstår som mørke pletter i stedet for blot et hvidt slør. Kommer der muld i fugerne medfører det også problemer med ukrudt, da der normalt er mange frø i muld.

Støv og smuds fra vibre-ring af sten og skæring af betonsten, jernrør med videre skal også undgås, da det giver afsmitninger.



Figur 3.38. Undgå opbevaring af sand og jord på belægningen. Det holder på fugten og øger risikoen for kalkudfældninger.



Figur 3.39. Undgå skæring af sten, rør, med videre på belægningen. Skærestøvet binder fast på belægningen.

### 3.4.4.4 Kvalitetssikring af udførelsen

Der bør ydes stor opmærksomhed på kvalitetssikringen af udførelsen. Udover bundsikring og bærelag, er det for betonsten og -fliser afretningslaget og fugerne, der skal have stor opmærksomhed. Udover den sædvanlige kontrol af planhed, koter med videre er det tykkelsen af afretningslaget og fugebredden, samt materialerne hertil, der er vigtige at kontrollere. Disse punkter har vital betydning for trafikerede arealers levetid.

Danske Anlægsgartnere har udarbejdet en vejledning for kvalitetssikring, og i "Udbudsforskrifter for brolægning" og "Kvalitetsplan for brolægning- og belægningsarbejde", er der udarbejdet kontrolplaner der kan benyttes til kvalitetssikringen.

Benyt ikke geotekstil direkte under stenene

Undgå tilsmudsning under udførelsen

I følgende skema er opstillet et forslag til kontrolplan. Planen tager udgangspunkt i "Udbudsforskrifter for brolægning" men planen er lavet specifikt for betonbelægninger og visse punkter er tilføjet og nogle er ændret.

## Forslag til kontrolplan

Kontrolplan for trafikbelastede betonbelægninger				
Emne	Kontrolmetode	Kontrolomfang	Prøvningsfrekvens/tidspunkt	Acceptkriterium
<b>Alment</b>				
Bærelag	Måling	(Omfang)	Før udlægning af afretningslag	Maks. ± 10 mm (s. 82)
<b>Betonsten/-fliser</b>				
Type/farve med videre	Visuel	100 %	Før/ved levering	SAB
Mærkning	Modtagekontrol	100 %	Efter levering	Jf. BVK/DBC/"DS/EN 1338"
Frostbestandighed	Modtagekontrol	100 %	Ved levering	"DS/EN 1338", klasse 3 (s. 58)
Jernudfældning	Visuel/måling	100 %	Aflevering/mangeleftersyn	Maks. 10 stk. >1,5 cm <sup>2</sup> pr. 10 m <sup>2</sup> . (s. 49)
<b>Afretningslag</b>				
Kornkurve	Sigteanalyse jf. "DS/EN 933-1"	1 prøve	Pr. påbegyndt 25 m <sup>3</sup>	"SAB" (s. 88)
Renhed/knusning	Visuel	100 %	Pr. leverance	"NVA"
Tykkelse	Måling	(Omfang)	Færdigt kontrolafsnit	30 mm ± 10 mm (s. 86)
<b>Fugegrus</b>				
Kornkurve	Sigteanalyse jf. "DS/EN 933-1"	1 prøve	Pr. leverance	SAB (s. 92)
Renhed/knusning	Visuel	100 %	Pr. leverance	Som for afretning
<b>Betonstenslag</b>				
Højde	Måling	(Omfang)	Færdig kontrolafsnit	Maks. ±10 mm i terræn. Min. +5 mm ved brønde mv. (s. 89)
Flugter	Visuel	100 %	Færdig kontrolafsnit	Lige flugter
Jævnhed	Måling	(Omfang)	Færdig kontrolafsnit	Maks. 10 mm nedstik (s. 89)
Mønster	Visuelt	100 %	Færdig kontrolafsnit	Ingen fejl i læggemønsteret
Fugebredde	Måling/visuelt	1 prøve	Pr. 200 m <sup>3</sup>	90 % 2-5 mm. Ingen under 1,5 mm eller over 6 mm (s. 97)
Fugefyldning	Visuelt	100 %	Færdig kontrolafsnit og efter 2, 4 og 6 mdr.	Helt fyldt
Tilpasninger	Visuelt	100 %	Færdig kontrolafsnit	Min. 30/50 % af hel sten (s. 91)

Tabel 3.17. Forslag til kontrolplan. Sidehenvvisninger er til denne bog. BVK: Betonvarekontrollen, NVA: "Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde", SAB: "Udbudsforskrift for brolægning - Særlig arbejdsbeskrivelse. 2007".

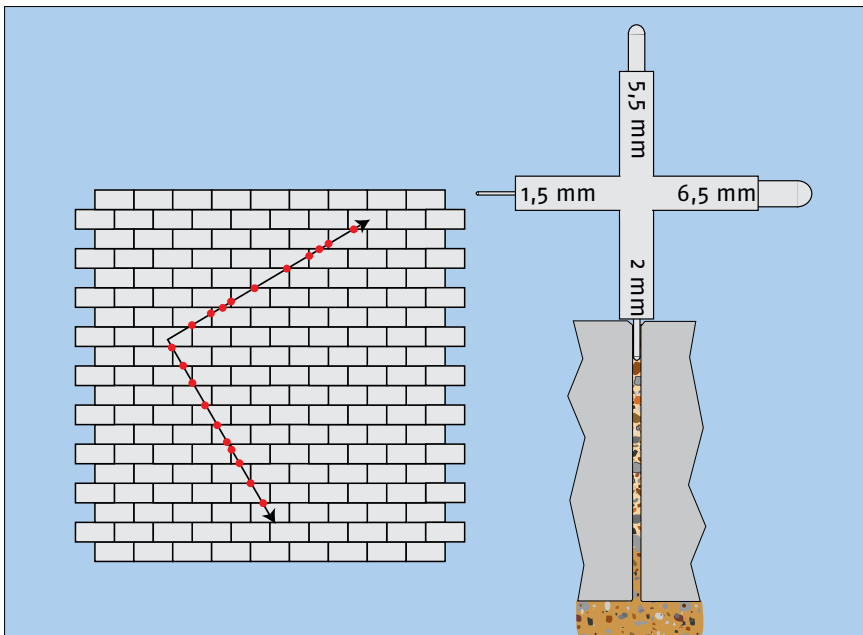


### Kontrol af fugebredde

Kontrollen af fugerne bliver typisk blot foretaget visuelt, men nedenstående er der angivet et forslag til en mere håndgribelig kontrol samt nogle acceptkriterier.

Fugebredden kontrolleres ved stikprøvekontrol. For hver 200 m<sup>2</sup> udføres der en stikprøve, som følger:

Der tages udgangspunkt i en tilfældig sten, hvorfra de 10 nærmeste fuger i 2 retninger vinkelret på hinanden kontrolleres. Retningerne skal ikke falde sammen med en gennemgående fuge. Fugebredden kontrolleres 10 mm under belægningsoverfladen, ved nedstik med søgerblad eller lign. Der skal ikke måles ud for fugeknaster og i hjørner.



Figur 3.40. Der foretages en kontrol pr. 200 m<sup>2</sup>. Der måles 10 fugebredder i 2 retninger vinkelret på hinanden, dvs. i alt måling af 20 fugebredder pr. 200 m<sup>2</sup>. Der kan evt. konstrueres et måleværktøj som vist i figuren. Med dette kontrolleres, at 2 mm spidsen kan stikkes ned i fugen, og at 5,5 mm spidsen ikke kan. Kan dette ikke overholdes, kontrolleres det yderligere om hhv. 1,5 mm og 6,5 mm spidsen kan stikkes ned i fugen. Der skal ikke måles ud for fugeknaster og i hjørner.

Af de 20 målinger i hver stikprøve må maks. 2 være mindre end 2 mm eller større end 5 mm. Endvidere må de fuger der ikke overholder kravet ikke være mindre end 1,5 mm eller større end 6 mm. Dette svarer til at 90 % af arealet skal have fugebredder på 2–5 mm, og maks. 10% fugebredder mellem 1,5–2 mm eller 5–6 mm.

Desuden skal det, ved en overordnet vurdering, kontrolleres, at arealet fremstår med korrekte og ensartede fuger og at der ikke generelt er gennemgående/lange fuger (længde > 0,7–0,8 m), eks. fuger omkring et maskinlagt felt, der ligger udover kravet på 2–5 mm.

Overholdes kravene ikke indenfor et kontrolafsnit (200 m<sup>2</sup>), skal der gennemføres yderligere 3 stikprøver, for at vurdere om afsnittet generelt ikke overholder kravene.

Stikprøve for hver 200 m<sup>2</sup>

Korrekt kontrol af fuger

Maks. 10% fugebredder mellem 1,5–2 mm og 5–6 mm

## 3.4.5 Betonfliselag

Lægning af betonfliser følger stort set anvisningerne i det foregående, dog er der nogle vigtige undtagelser, som gennemgås i det følgende.

### 3.4.5.1 Lægning af betonfliser

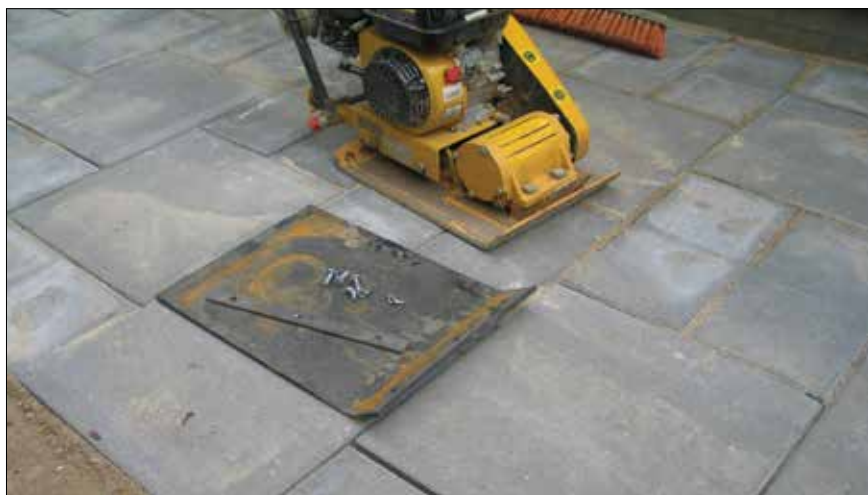
Fliserne lægges i princippet som sten, dog skal man være opmærksom på den større vægt af hver enkelt emne og sikre nogle gode arbejdsstillinger. Fugen skal normalt være 2–5 mm, men ved større fliser med andre tolerancer, kan den øvre grænse være højere, jf. "DS/EN 1136". Flisebelagte arealer skal efter stødning/vibrering maksimalt fremstå med en højdeafvigelse mellem fliserne på +/- 3mm.



Figur 3.41. Fliserne lader man som betonsten, skride skråt ned for at opnå den korrekte fugebredde.

### 3.4.5.2 Egnede pladevibratoren

Flere forsøg har indikeret, at betonfliser kan vibreres med pladevibratoren modsat tidligere anbefalinger. De følgende anbefalinger gælder kun for betonfliser med dimensionerne 25 x 50 x 5 cm og 50 x 50 x 5 cm samt stærkere formater, det vil sige større tykkelse og/eller mindre sidelængder og mindre forhold mellem sidelængderne. Det skal iagttages meget nøje om der forekommer skader ved vibreringen.



Figur 3.42. Pladevibrerorens kunststofsål kan fremstilles af PEHD-plade.

Krav til pladevibrator:

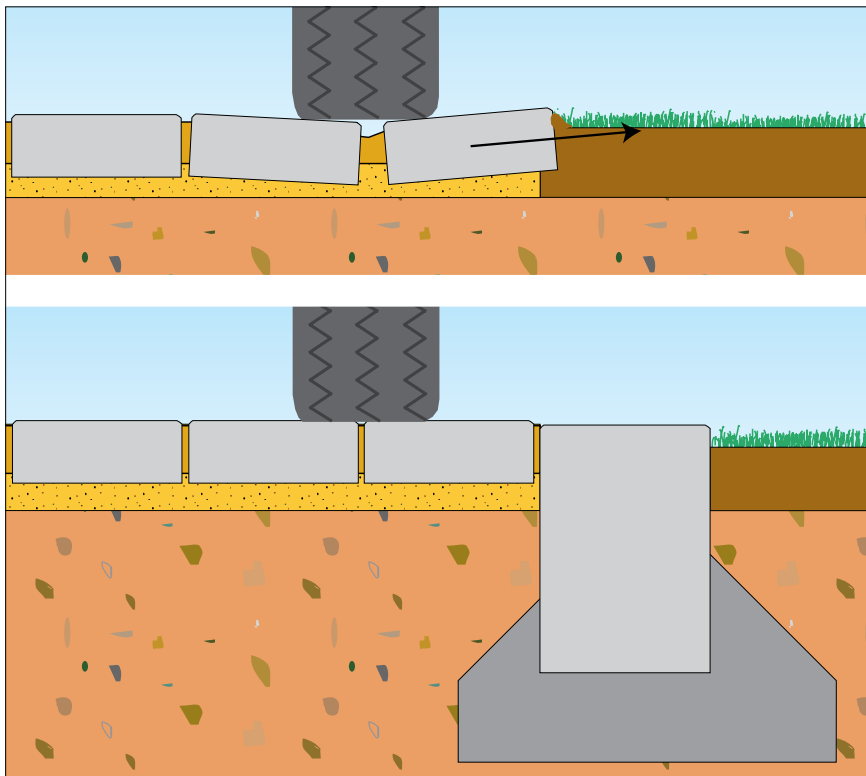
- Vægt: max. 90 kg
- Centrifugalkraft\*: maks. 70 kN/m<sup>2</sup>
- Frekvens: min. 90 Hz
- Monteret med kunststofsål.

\* Se nærmere s. 94.

Der køres én gang på langs, fugerne efterfyldes, og der køres én gang på tværs. Begge overkørsler med 50 % overlap.

### 3.4.6 Kantsikring

En forudsætning for at befæstelser med betonsten har en lang levetid er, at der etableres en kantsikring. Kantsikringens opgave er at holde sammen på befæstelsen, således at trafikken ikke skubber stenene fra



Figur 3.43. En korrekt kantsikring bevirker, at stenene ikke skrider ud og bæreevnen ved kanten bevares. Her kantsikring med Albertslund kantsten.

hinanden, og befæstelsens bæreevne derved reduceres.

Hvis belægningen grænser op til en bygning eller lignende, skal der ikke foretages yderligere. Hvor dette ikke er tilfældet, kan kantsikringen eksempelvis bestå af en betonkantsten, der sættes i jordfugtig beton, eller der kan udstøbes en rende med beton.

Selv om belægningen afsluttes med en speciel randsten, der griber ind i den øvrige belægning, er det stadig nødvendigt at etablere kantsikring.

#### 3.4.6.1 Buede tværprofiler

Buede tværprofiler kan være hensigtsmæssige af hensyn til afvanding og udseende.

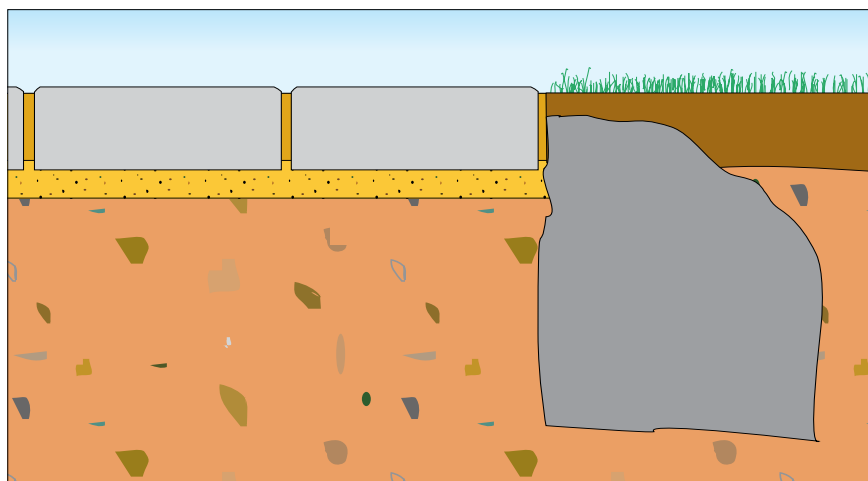
Tilskrives kantsikringen desuden en understøtningsvirkning i forbindelse med buede tværprofiler, skal man være opmærksom på, at det vil være nødvendigt med en kraftigere kantsikring end normalt, hvis den ønskede buevirkning skal etableres.

Kantsikringen holder sammen på befæstelsen

Konsekvens af manglende kantsikring

Eksempel på korrekt kantsikring

Kantsikring med jordfugtig beton



Figur 3.44. Kantsikring med jordfugtig beton. Vækstforholdene over kantsikringen er begrænsede.

Manglende kantsikring



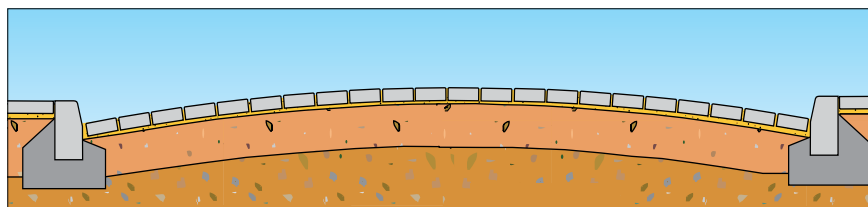
Figur 3.45. Resultatet af manglende kantsikring.

## 3.4.6.2 Sætning af kantsten

Kantsten sættes i jordfugtig beton. Følgende figur viser, hvilke dimensioner der i henhold til "Udbudsforskrift for brolægning" og "DS 1136" kræves for under-, for- og bagstøbning af kantsten.

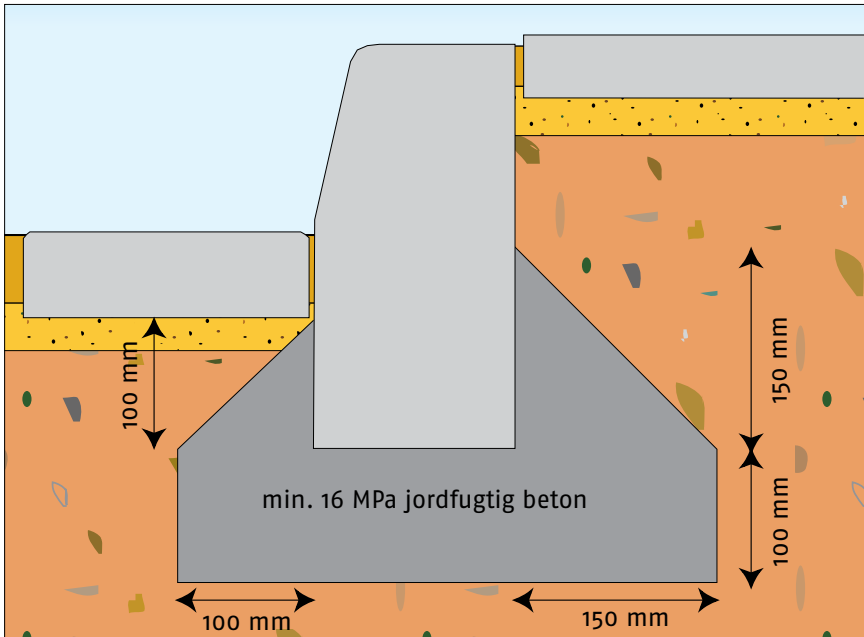
Når kantstenen sættes, udlægges først understøbningen. Derefter placeres kantstenen herpå, og rettes til efter de i forvejen udspændte rettesnore.

Buede tværprofiler



Figur 3.46. Buede tværprofiler kan være med til at forøge bæreevnen. Det kræver dog, at kantsikringen kan give en tilstrækkelig sidestøtte. Buede tværprofiler er også velegnede med hensyn til afvanding og det æstetiske indtryk.

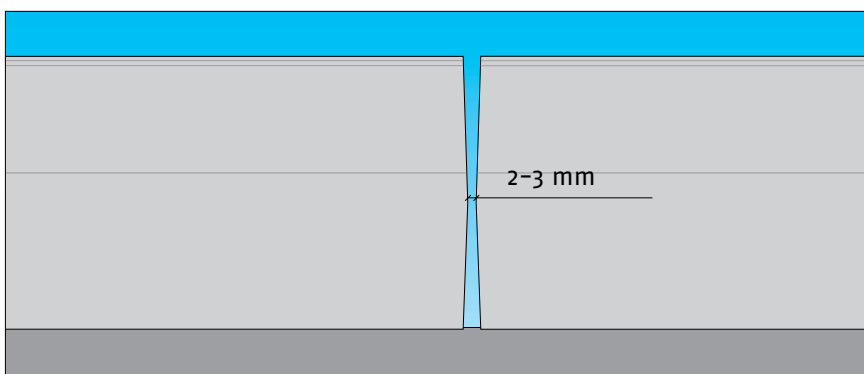
Kantstenene sikres god kontakt med understøbningen ved brug af eksempelvis stødstænger. Det er vigtigt, at der etableres korrekt afstand mellem kantstenene for at undgå kantafskalninger. I følge "DS 1136" skal fugebredden være 2–3 mm, målt hvor kantstenene står tættest sammen. Der tilstræbes maks. 10 mm fuge på den synlige del. De 2 mm er nødvendige for at kunne optage bevægelser pga. trafik, sætninger og temperaturudvidelser.



Figur 3.47. Ved sætning af kantsten skal der foretages såvel for-, under- og bagstøbning. Ved buslommer, svingbaner og lignende steder med stor belastning skal understøbningen være 150 mm.

Temperaturudvidelser kan være væsentlige, især hvis der ligger asfalt op ad kantstenen. Kantstenen vil fra en vinterdag (0 °C) til en varm sommerdag (60 °C, hvis der ligger asfalt opad kantstenen) udvide sig ca. 1 mm.

Efter kantstenen er sikret god kontakt til understøbningen, etableres for- og bagstøbningen. Skal der etableres et fortov eller lignende, kan det være en fordel at tætte fugen mellem kantstenene, for at undgå at der løber grus ud igennem fugen. Fugen kan tætnes ved at sætte en filtstrimmel imellem kantstenene eller kline fugen på bagsiden af kantstenene. Fugen skal ikke fyldes med mørtel. Den jordfugtige beton skal sikres mod udtørring, f.eks. ved at afdække den. Når betonen har tilstrækkelig styrke kan materialerne omkring kantstenen udlægges.



Figur 3.48. Ved sætning af kantsten er det vigtigt at fugebredden kontrolleres det rigtige sted. Fugebredden på 2-3 mm kontrolleres hvor kantstenene står tættest sammen.

For-, under- og bagstøbning

Temperaturudvidelser

Tætning af fugen

Fugebredde 2-3 mm



## 3.5 Projektering og udførelse af trapper

Der udføres betontrapper mange steder, både på offentlige og private arealer. Ved brug af betontrapper er mulighederne for at variere form, farver, faconer og overflader store. Dette skyldes, at udvalget af såvel færdige trappeelementer som betonsten er meget stort. For at opnå en robust og komfortabel trappe med lang levetid, er det vigtigt at den anlægges korrekt. Trapper udføres normalt i henhold til "Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde".

### 3.5.1 Projektering

Der kan være flere grunde til at lave en trappe. Som regel er det på grund af niveauforskelle i terrænet, men det kan også være for at dele store arealer op, indbygge siddepladser eller for at opnå en skulpturel virkning.

Der vil i det følgende blive omtalt to typer betontrapper: færdigdesignede trappetrinselementer som er kendetegnet ved at være en af de hurtigste trapper at opstille og betonstenstrappen som er kendetegnet ved at være meget fleksibel og nem at få passet ind i eksisterende omgivelser. Ud over valg af trappetype og design skal man være opmærksom på følgende allerede i anlægsfasen:

- Vand- og frostskeer
- Dårlig underbund.

Ovenstående kan ikke ses i starten af trappens levetid, men vil kunne give alvorlige problemer på et senere tidspunkt.

#### 3.5.1.1 Vand og frostskeer

Vand kan generelt altid give problemer i forbindelse med belægninger, hvis ikke der tages de nødvendige forholdsregler. Vandet kan dels bløde bærelaget op, hvorved det mister styrken og dels forårsage et stort vandtryk inde i selve jordskråningen, som kan presse trinene ud. Problemer med vandtryk er dog værst for lerjorde og lignende.

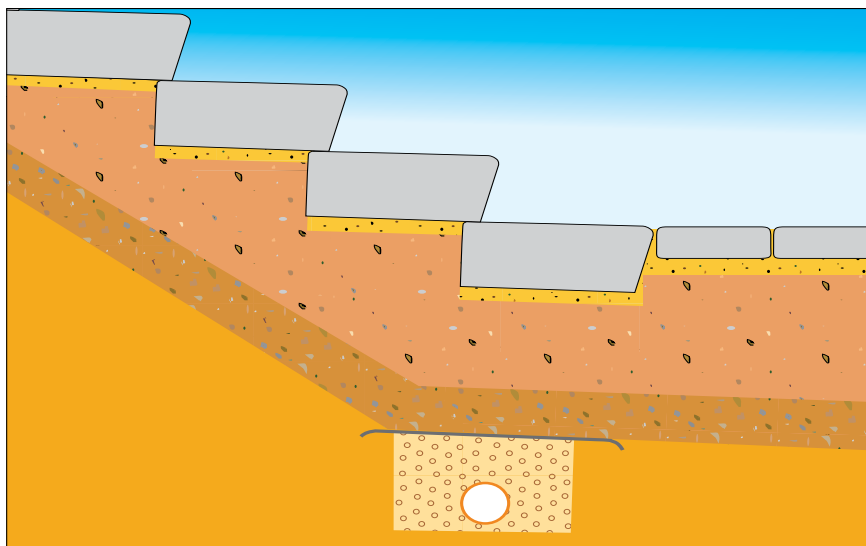
Hvis der ophobes vand enten i råjorden eller i bærelaget, kan vandet fryse til is med frosthævninger til følge.

For at undgå frost- og vandsker skal det nøje overvejes, hvorvidt der er behov for et dræn. Drænet kan bestå af et drænende lag som f.eks. singels, 32-64 mm eller ved at indlægge drænrør i et lag med for eksempel filtergrus. Drænrøret og/eller drænlaget skal etableres med et fald på min. 3 ‰, jf. "Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde". Drænmaterialet skal adskilles fra bundsikring og/eller stabilt gruslaget med en fiberduk. Se evt. følgende figur.

Er trappen mere end 1 meter høj anbefales det altid at lave et dræn.

Element- og  
Betonstenstrapper

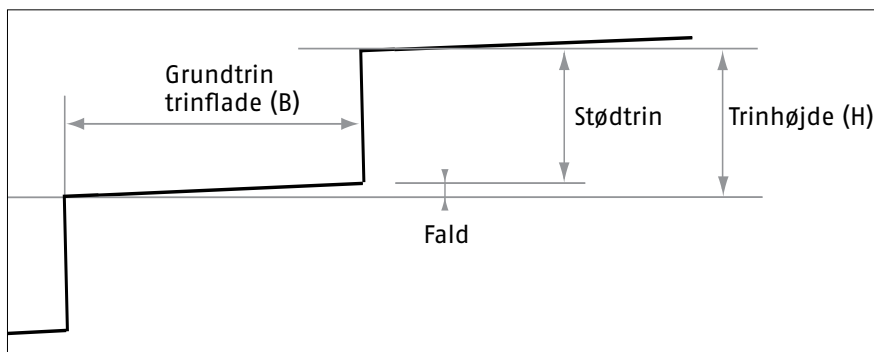
Dræn



Figur 3.49. Elementtrappe med dræn under nederste trin.

### 3.5.1.2 Trappens komponenter

En trappe består i princippet af et stødtrin som er den lodrette del og et grundtrin som er den vandrette del. Grundtrinene skal have et fald på minimum 15 ‰. Trinene skal altid være vandret på tværs af trappen.



Figur 3.50. Stødtrin er den lodrette del og grundtrin den vandrette del. Grundtrinene skal have et fald på minimum 15 ‰. Trinene skal altid være vandrette på tværs af trappen.

Forholdet mellem trinshøjden (H) og trinfladen (B) bør så vidt muligt tilpasses, således at der fås en god gangkomfort. Ved gangkomfort forstås, at den naturlige gangrytme der haves på fladt terræn, fortsætter når man går på trappen. Dette kan opnås ved at følge trappeformlen:

$$B + 2H = 63 \text{ cm}$$

Skal trappen etableres, så den følger terrænet, som for eksempel ved en skråning, er forholdet mellem trinshøjden (H) og trinfladen (B) i en vis udstrækning fastlagt af terrænet. Opfyldes trappeformlen ikke skal man ikke forvente en god gangkomfort.

Hvis trinshøjden og trinfladen af en eller anden årsag skal ændres, bør dette ske gradvist eller ved at indlægge en repos svarende til et helt antal ekstra skridtlængder undervejs.

Der findes også andre trappeformler der gælder ved lange, flade trapper. Her benyttes:

$$H = 500/B + 1,2 \text{ eller bare } H = 500/B$$

Trappeformel

Trappeformel ved lange flade trapper



### 3.5.1.3 Opbygning af underbunden

Der skelnes mellem elementtrappen og en trappe bygget af betonsten. Forskellen er, at der ved betonstenstrappen anbefales understøbning af hele trappen med jordfugtig beton. Den jordfugtige beton erstatter stabilt grus og afretningslag. Efterfølgende gælder generelt for begge trappetyper.

Underbund	Frostsikker	Frostvivlsom	Frostfarlig
Afretningsgrus	30 mm	30 mm	30 mm
Stabilt grus/jordfugtig beton	120 mm	120 mm	120 mm
Bundsikringslag	-	200 mm	300 mm

Tabel 3.18. Lagtykkelser under trappen. Benyttes der jordfugtig beton (20 MPa) skal der *ikke* laves et afretningslag.

Fastlæggelse af lagtykkelser

## 3.5.2 Betonstenstrappe

Populært sagt kan man sige, at der anvendes "byggeklodser" når man bruger betonsten og kantsten til trappen, og mulighederne for forskellige former er derfor næsten uendelige. Grundet trappens store fleksibilitet i forbindelse med formgivning og placering i terrænet er løsningen tiltalende og meget anvendt.

### 3.5.2.1 Sætning i beton

Alle trappens bestanddele der er i direkte kontakt med underbunden, bør altid sættes i et lag jordfugtig beton (inkl. grundtrinet) til trods for, at der i normerne beskrives, at stabilt grus og bundsikring er tilstrækkelig. Dette er for at undgå sætninger af grundtrinet. Hvis der sker sætninger, vil der komme til at stå vand på selve trinnet, som bevirker, at det grus, der ligger umiddelbart under grundtrinet, vil blive blødt op og derved miste sin bæreevne.

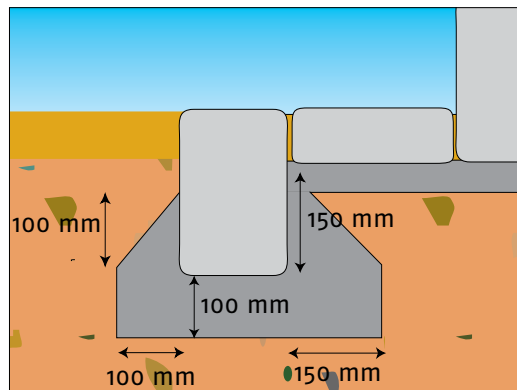


Figur 3.51. Sætning af trappe i jordfugtig beton.

Når der udlægges beton er man fri for at sætte grundtrinene med overhøjde, idet der ikke forekommer sætninger. Det undgås endvidere, at der løber afretningsgrus og stabilt grus ud gennem fugerne. For at forhindre stødtrinene i at "tippe" skal der for- og bagstøbes med jordfugtig beton.

## 3.5.2.2 Kantsikring

De yderste sten langs trappens sider skal også kantsikres for at opnå en god sidestøtte. Dette kan gøres med jordfugtig beton, men det vælges ofte, af æstetiske grunde, at lave en vange af kantsten eller betonsten, der er for- og bagstøbt. Her er der igen mange muligheder. Vangen kan udføres af samme materiale som trappen, men andre materialer er også anvendelige. Det væsentlige er, at vangen opfylder funktionen som kantsikring.

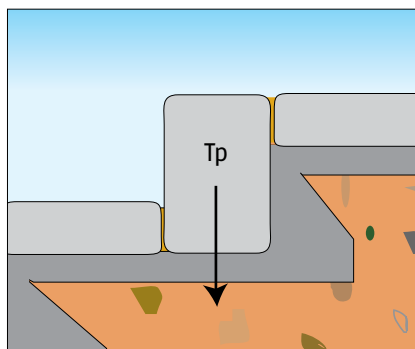


Figur 3.52. Kantsikring af stødtrin og understøbning af grundtrinnet med jordfugtig beton.

## 3.5.2.3 Placering af stenene

Rent teknisk er en løsning med betonsten mere krævende, idet der hele tiden haves flere valgmuligheder for at vende og dreje stenene og herved risikere at få placeret stenene uheldigt. Som udgangspunkt bør stenene placeres på en sådan måde at det ikke er nødvendigt at bruge mørtel/lim i fugerne, det vil sige, at stødtrinene skal placeres med tyngdepunktet så langt inde og nede i trappen som muligt. Dette opnås ved at anvende høje og tykke blokke.

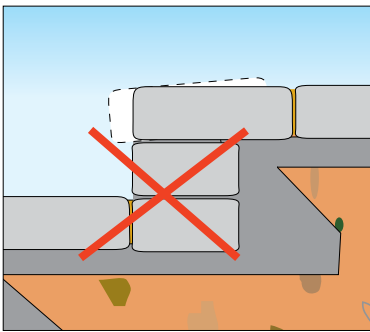
Limning/fugning skal ses som en ekstra foranstaltning.



Figur 3.53. Få tyngdepunktet så langt ned og ind i trappen som muligt, det sikrer stabiliteten.

Sørg for altid at opfylde nedenstående punkter:

- Brug altid så store stentyper som muligt, det øger stabiliteten.
- Benyt radiussten hvis der skal laves buede trapper.
- Sørg for at tyngdepunktet af stødtrinnet ligger langt inde og nede i trappen.
- Undgå at lave vandnæser, de bliver let trådt af.
- Hvis der skal skæres, er det vigtigt, at tilskæringen ikke er synlig.
- Betonstenene er mest velegnet som grundtrin. Hvis de benyttes som stødtrin skal de sættes som rulleskifte.
- Stød stenene sammen med mørtel eller lim. Efterfyld med fugemateriale. Maksimalt 15 mm mørtelfuger.
- Undgå vandrette fuger, det stiller store krav til udførelsen.



Figur 3.54. Undgå vandrette fuger – stenene går ofte løse og skrider ud.

Undgå vandrette fuger

### 3.5.3 Elementtrappe

Elementtrappen er en af de hurtigste trapper at opstille. Geometrien på trinene er givet fra fabrikken og har typisk en trindhøjde på 14-16 cm og en dybde på trinfladen på 35-50 cm.

Ud fra trindhøjden er det let at bestemme dybden på trinfladen ved trappeformlen og dermed hvor meget overlap trinene skal ligge med. Elementerne der har trindybder på 50 cm er velegnede når trappen drejer.

Trappeelementerne fås både med rektangulære tværsnit og med skrå forkant, hvilket giver en god gangkomfort på trappen.

Elementtrappens force er blandt andet vægten, der sikrer god stabilitet. Det skal dog bemærkes, at trinene typisk vejer mellem 100 og 140 kg pr. meter, hvilket gør dem tunge at håndtere. Det vil derfor ofte være nødvendigt med løfteredskaber/maskiner. Trappetrinselementerne kan dog fås ned til 40 cm lange, hvorved det er muligt at flytte disse med håndkraft. Hvis der benyttes elementer der er kortere end trappens bredde er det en god idé at udlægge jordfugtig beton under hele trinnet som ved trapper udført af betonsten.

#### 3.5.3.1 Afretning og komprimering

Det væsentligste i opsætning af en elementtrappe er at få startet rigtigt. Trappen bygges op nedefra, hvor placering og fundering af det nederste trin danner grundlag for opbygning af resten af trappen.

Vigtigt at få startet rigtigt

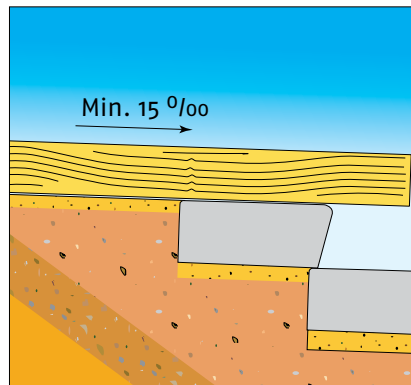
## Fremadrettet hældning til afvanding

Idet understøbning ikke er strengt nødvendigt er det meget vigtigt at etablere en meget jævn afretning og en ensartet komprimering af såvel råjordsplanum, bundsikrings-, bære- og afretningslag for at undgå utilsigtede sætninger.

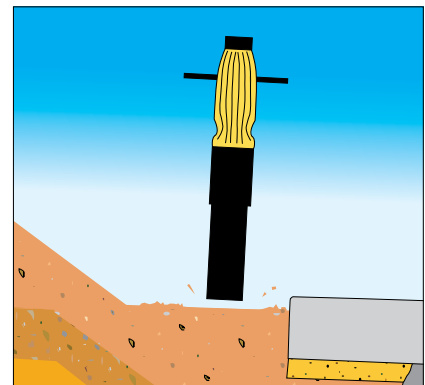
Lagene afrettes, så der er en fremadrettet hældning til afvanding af såvel underbunden som trappetrinselementerne. Dette kan eventuelt gøres ved at anvende et bræt, der lægges plant på nederste trin, så det er muligt at afrette gruset bag trinnet med passende hældning.

Hvis komprimering og afretning af lagene er for dårlig, risikeres det, at trinnet sætter sig, så der fås bagudrettet hældning på trinnet, idet trinets forkant hviler på underliggende element.

I forbindelse med den trinvis komprimering af lagene bag trinnet kan det allerede udlagte trin forskubbe sig ud ad under komprimeringen. Valget af komprimeringsudstyr bør derfor vælges, således at dette ikke sker. En brolæggerjomfru og nedvanding af afretningsgruset er i mange tilfælde tilstrækkeligt.



Figur 3.55. Jævn afretning med et bræt. Fremadrettet hældning på min. 15 ‰.

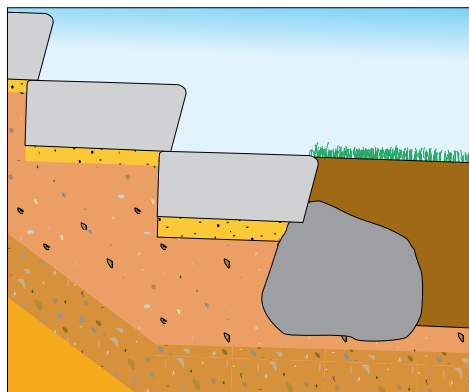


Figur 3.56. Komprimering af stabilt grus bag trinnet eventuelt ved brug af brolæggerjomfru.

For at forhindre afretningsgrus og bærelag i at løbe ud gennem eventuelle fuger kan trappetrinselementet bagklines med limmørtel.

### 3.5.3.2 Kantsikring

Trappens stabilitet kan sikres ved at lægge det nederste trin ned i terrænets niveau og etablere en kantsikring med jordfugtig beton. Hvis der haves en anden befæstelse, kan denne som regel virke som kantsikring. Trappen kantsikres til siderne med jordfugtig beton eller ved at udlægge grus langs siderne og komprimere dette. Det er naturligvis også muligt at etablere en vange for at lave en pæn afslutning mod siderne.



Figur 3.57. Eksempel på kantsikring af nederste trin.

## 3.6 Projektering og udførelse af støtte- og støjmure

På det danske marked findes der et rigt udvalg af betonprodukter til opbygning af støtte- og støjmure. Blokkene findes i mange forskellige udformninger, der har alle til formål, at give en mur med lang levetid samt et æstetisk tilfredsstillende udtryk. Uanset hvilket produkt der vælges er det altafgørende, at muren opbygges korrekt, hvis den skal have et tilfredsstillende udseende og en lang levetid. Støtte- og støjmure udføres normalt i henhold til "Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde".

### 3.6.1 Støttemure og støjmure

Støtte- og støjmure er principielt forskellige. Støttemuren laves for at støtte en jordskråning (holde jorden tilbage), mens støjmuren typisk er en dobbelt mur, der laves for at dæmpe trafikstøj. Den dobbelte mur kan også anvendes i stedet for hegn og hække.

Begge typer mure kan laves som enten lukket eller åben mur. Ved en lukket mur sættes blokkene med en fuge på 2-5 mm, mens de ved en åben mur sættes med et mellemrum på 10-20 cm.



Figur 3.58. Støttemur. Det er vigtigt ved dimensioneringen at tage højde for belastningen oven for muren, f.eks. som her jordvolden.



Figur 3.59. Støjmur. Muren er lavet åben for at kunne beplante den og for at reducere den støj der reflekteres.

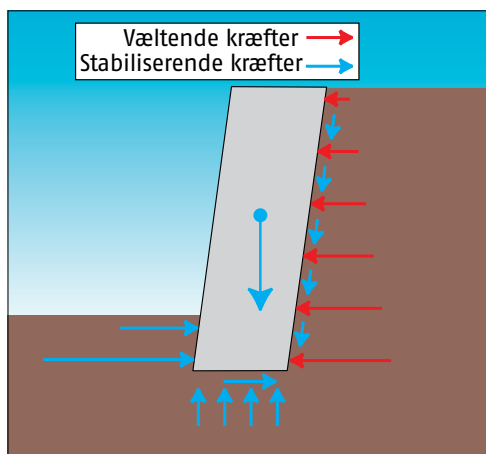
Støttemur

Støjmur

Jo større hældning -  
større bæreevne

## 3.6.1.1 Støttemures virkemåde

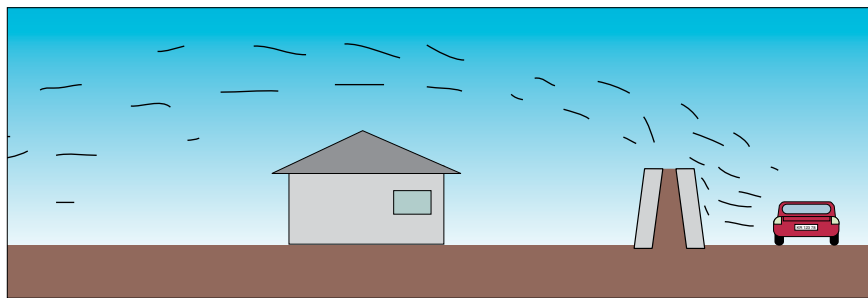
Hovedformålet med støttemure er, at afstive jorden ved niveauforskelle i terrænet og således forhindre, at skråningen falder sammen og at vand eroderer den. Støttemuren støtter jorden ved hjælp af sin egenvægt og normalt en vis hældning. Jo større hældning og egenvægt jo større belastning kan muren bære. Belastningen stammer både fra jorden bagved men også fra eventuel last ovenpå jordskråningen. Ved at anvende støttemure, i stedet for at lade jorden stå med en naturlig hældning, kan man opnå en væsentlig bedre pladsudnyttelse såvel ovenfor som nedenfor muren.



Figur 3.60. Støttemurens virkemåde. Murens egenvægt, jordtrykket foran muren og friktion under og bag muren skal modsvarer det jordtryk der opstår bag muren.

## 3.6.1.2 Støjmurens virkemåde

Støjmur skal skærme for den støj trafikken genererer. Støjmur skal enten opstilles tæt på trafikken eller tæt på den bebyggelse, der skal beskyttes mod støj. I nogle tilfælde kan det være nødvendigt at forsyne overfladen med støjabsorberende materiale for at undgå forøgede støjgener på den modsatte side af vejen. Eventuelt kan muren udføres som åben for at tage højde for dette. Støjdæmpningen afhænger meget af murens højde, men kan, med realistiske dimensioner, komme op på 10-12 dB (8 dB svarer til en halvering) bagved muren. Jo længere væk fra muren man kommer jo mindre bliver støjdæmpningen.



Figur 3.61. Støjmur skaber "læ" for lyden, nøjagtig som var det vinden der skulle skabes læ for. Muren skal placeres enten tæt ved lydkilden eller tæt på det sted der er støjplaget. Placeres muren ved lydkilden, kræver det, at stedet der skal beskyttes mod støj, ikke er længere væk end ca. 100 m, hvis der skal være en god effekt jf. "Veje til mindre støj". Ved afstande over 300 m, er effekten næsten væk.

### 3.6.1.3 Bæreevnekurver

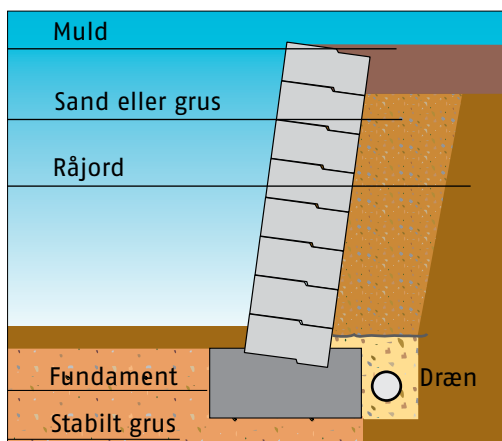
En korrekt opbygning af støttemuren er en forudsætning for et tilfredsstillende udseende og en lang levetid. Flere producenter leverer kurver, der viser hvilken hældning en støttemur skal have, afhængig af dens højde. Det er vigtigt, at disse overholdes, da et kollaps af muren ellers risikeres. Vær opmærksom på at sådanne kurver altid er baseret på diverse forudsætninger og kontroller at disse forudsætninger er opfyldt. Er sådanne kurver ikke tilgængelige, eller er forudsætningerne ikke opfyldt, anbefales det at få lavet en vurdering eller beregning af en sagkyndig person.

De i denne publikation viste højder og hældninger kan ikke overføres til aktuelle tilfælde.

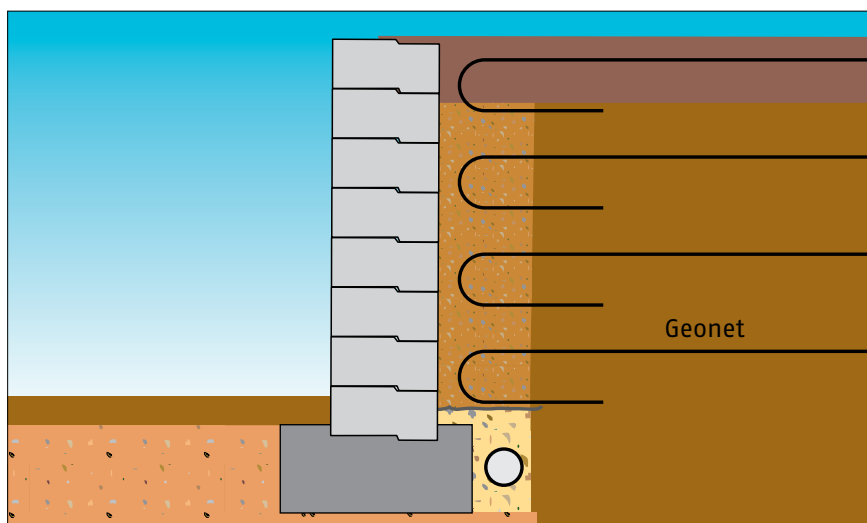
### 3.6.2 Opbygning af støttemure

Støttemure bør altid sættes på et fundament af jordfugtig beton og derunder stabilt grus eller bundsikringsgrus.

Bag muren bør der placeres et dræn samt et drænende lag, for at undgå at der opstår vandtryk på muren, da det kan få muren til at kollapse. Det vil næsten altid være nødvendigt at muren hælder for at opnå tilstrækkelig stabilitet. Det er kun meget lave mure, der kan stå lodret, uden at der foretages forankring ind i jorden, bagstøbning eller armering af jorden med geonet. Søg rådgivning før udførelse af sådanne forstærkninger.



Figur 3.62. Princip for opbygning af støttemur.



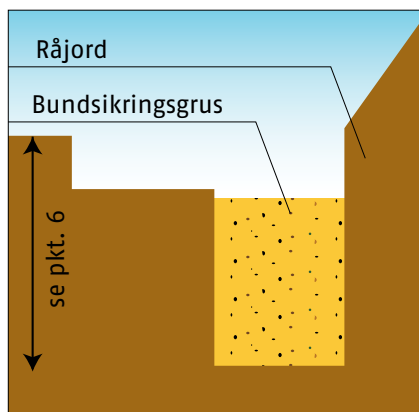
Figur 3.63. Armering med geonet. Figuren viser kun princippet, og armeringen skal altid udføres efter producentens anvisninger.

Armering med geonet

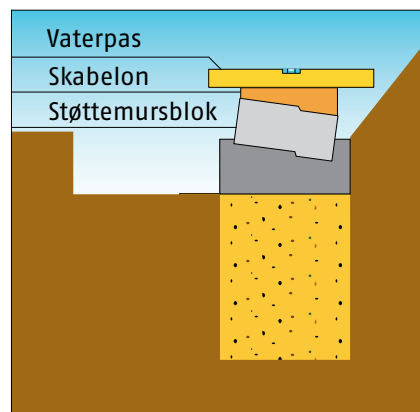
## Forøgelse af bæreevnen

Benyttes der hule blokke, kan de med fordel fyldes med beton eller sand for at forøge murens egenvægt og dermed bæreevnen. Nedenstående er opbygningen gennemgået trin for trin. Vejledningen er generaliseret og der vil derfor, for nogle blokke, kunne være afvigelser. Har producenten givet en anden vejledning skal denne altid følges. Ved høje mure (> 1,5 m) bør sagkyndig rådgivning indhentes. Korrekt fundament og underbund er nødvendig, da der ellers vil opstå sætninger med tiden. Se endvidere "Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde".

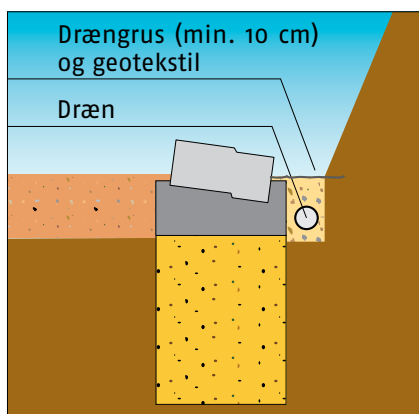
En omhyggelig udførelse af 1. skifte er yderst vigtig. Nogle blokke giver automatisk en vis hældning når oversiden er vandret. Der kan normalt ikke justeres på murens hældning i de overliggende skifter. Husk at ved åben mur skal 1. skifte være lukket. Til flere støttmursblokke findes der forskelligt tilbehør, f.eks. hjørne-, halve- og afslutningsblokke til øverste skifte.



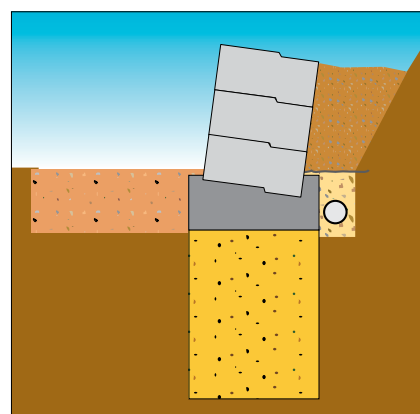
1. Al muld graves af, så man kommer ned til bæredygtig underbund. Overhold desuden min. dybden under terræn (pkt. 6). Der fyldes op med bundsikringsgrus i lag á 15 cm, og der komprimeres for hvert lag.



2. Der sluttes af med et fundament i jordfugtig beton 5 cm under terræn og ca. 20 cm tykt og 15 cm bredere end blokken. Blokkene sættes med det samme i betonen. Benyt snore til at holde retningen og benyt en skabelon til at give blokken den rette hældning. Nogle blokke giver en vis hældning når de sættes vandret.

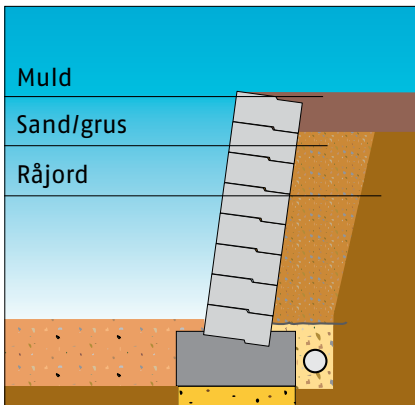


3. Der graves en rende bag fundamentet og et drænrør lægges ned efter producentens forskrifter. Vær opmærksom på at der foran fundamentet ofte er regnet med, at der også er komprimeret sand eller stabilt grus.



4. Efter normalt 1-2 dage har betonen fået tilstrækkelig styrke til at de ovenstående skifter kan laves. Der bagfyldes og komprimeres løbende for hvert 2. skifte. Normalt sættes blokkene med 1/2-stens forbandt.





Råjordens frostsikkerhed defineret jf. vejreglerne		
Frost-sikker	Frost-tvivlsom	Frost-farlig
-	70 cm	90 cm

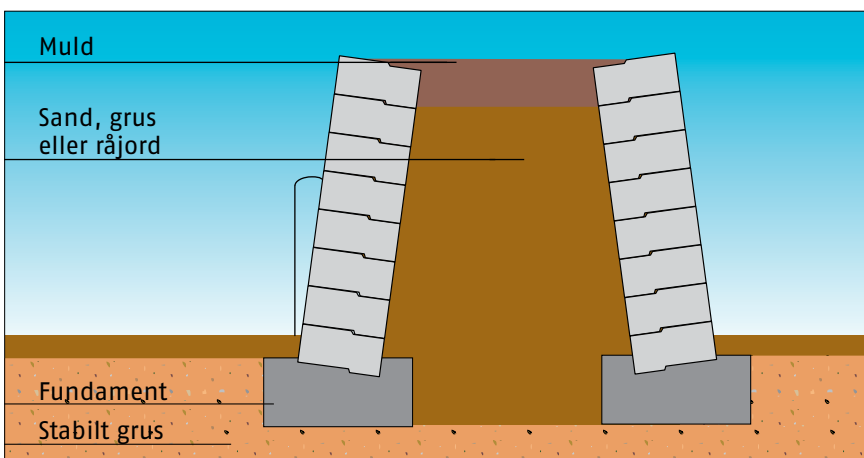
5. Skal der plantes oven for muren afsluttes der med ca. 30 cm muld. Ved åbne mure er det, af hensyn til vedligeholdelsen og æstetikken, en fordel at også øverste skifte er lukket.

6. Funderingsdybde. De øverste 25 cm er jordfugtig beton placeret 5 cm under terræn. Derunder bundsikringsgrus til en dybde under terræn som angivet i tabellen.

Figur 3.64. Opbygning af støttemure trin for trin. Har producenten givet anden vejledning følges denne.

### 3.6.3 Opbygning af støjmure

Støjmure eller dobbeltmure opbygges som støttemure. De to sider opbygges sideløbende. Kernen kan bestå af råjord, sand eller grus. Den øverste del kan med fordel bestå af muld, så det er muligt af få planter eller græs til at gro. Det er normalt ikke nødvendigt at dræne inderkernen, da der kun tilføres begrænsede mængder vand.



Figur 3.65. Princip for opbygning af støjmur.



## 3.7 Vakuumløfteudstyr

Løft af betonfliser, kantsten og andet ved hjælp af vakuumløfteudstyr bliver mere og mere udbredt. Det skyldes dels arbejdsmiljøregler, og dels at der kan lægges flere fliser end med alternative metoder. Det er imidlertid vigtigt, at man vælger det rigtige udstyr for at undgå fejlinvesteringer og spildtid på pladsen. Følgende bygger bl.a. på flere hundrede forsøg med forskelligt udstyr og fliser udført for Belægningsgruppen.

### 3.7.1 Materiel og betonfliser

Vakuumløft vil sige løft hvor byrden holdes af et undertryk mellem byrden og maskinen. Teknikken er brugt i mange år indenfor industrien til håndtering af bl.a. stålplader. I det følgende gennemgås de karakteristika ved maskiner og fliser som har betydning for effektiviteten.

#### 3.7.1.1 Maskintyper

Der findes overordnet tre typer vakuumløftere til fliser og kantsten. Håndholdte der drives af batteri eller ekstern strømforsyning, maskinmonterede der drives af en gravemaskines hydraulik og selvstændige vakuumløftere der er uafhængige af andre maskiner. Det er typisk de sidste to kategorier, der er anvendelige til at lægge betonfliser og kantsten med.



Figur 3.66. Yderst til venstre en lille batteridrevet vakuumløfter. I midten en vakuumløfter der monteres på f.eks. en gravemaskine og drives af dennes hydraulik. Yderst til højre en selvstændig vakuumløfter med stort luftflow. Det er typisk kun de sidste to typer der kan være anvendelige til betonfliser.

Maskinerne kan teoretisk set alle skabe lige store undertryk og dermed løfte samme byrde, men det luftflow (mængden af luft pr. tid, f.eks.  $m^3/time$ ) de kan præstere, er meget forskelligt. Størrelsen af luftflowet er afgørende for, hvor store "utætheder" udstyret kan håndtere.

#### 3.7.1.2 Turbine kontra vakuumpumpe

Vakuumet i løftegrejet skabes på én af to måder; enten via en pumpe eller via en turbine. Pumpen kan lave stort undertryk (vakuum), men har et mindre luftflow end turbinen, dvs., den kan benytte en mindre sugeflade, men kræver til gengæld mere lufttætte emner. Alt andet lige vil turbinetypen derfor være mere velegnet til betonfliser, da deres naturlige porøsitet kræver, at maskinen har et luftflow af en vis størrelse. Erfaring og forsøg viser, at luftflowet gerne skal være på min. 50–60  $m^3/time$ .

Vælg en maskine med et højt luftflow

## 3.7.1.3 Betonfliser – porøsitet

Betonfliser er stort set altid støbt af jordfugtig beton (en meget tør beton). Det giver en høj styrke, og stor modstandskraft mod frost og salt. For at undgå afskalninger ved påvirkning fra frost og salt, skal flisen have en del luftporer, så vandet har mulighed for at udvide sig, når det fryser.

Derfor er betonfliserne aldrig 100 % lufttætte. Dette har betydning for valg af vakuumløfteudstyr. Det vil kræve en maskine, der kan levere et luftflow af en vis størrelse, for at kunne opretholde et tilstrækkeligt undertryk til at løfte flisen.

## 3.7.2 Valg af maskine

Når der skal indkøbes vakuumløfteudstyr, der skal anvendes til nye betonfliser, er der flere forhold man skal være opmærksom på for at sikre, at der ikke opstår problemer med at løfte fliserne.

### 3.7.2.1 Luftflow

Vælg en maskine med et højt luftflow (større end 50–60 m<sup>3</sup>/time). Det er med til at sikre, at maskinen kan håndtere f.eks. nye betonfliser. Som en simpel test kan maskinen prøves på en fortovsflise (80 x 62,5 x 7 cm) med 1 stk. 6 mm boret hul eller en 50 x 50 x 5 cm flise med 2 stk. 6 mm huller. Maskinen bør akkurat kunne løfte begge typer.



Figur 3.67. Før et maskinkøb bør der testes med en flise med 1 eller 2 stk. 6 mm huller i. Her en 50 x 50 x 5 cm flise med 2 stk. 6 mm huller.

### 3.7.2.2 Turbine eller pumpe

Maskiner med vakuumburbiner vil typisk have et væsentligt højere luftflow end maskiner med en vakuumpumpe og således kunne tolerere større utætheder.

Der kan endvidere være forskel på, om selve pumpen eller turbinen kræver løbende smøring eller ej. Overholdes den løbende smøring ikke, vil det give mere slid og mindre vakuum.

### 3.7.2.3 Nyttige reservedele

Ved erhvervelse af maskinen vil det være en god ide at få ekstra luftfiltre, skumlæbe og andre sliddele med. Det vil således være let at finde frem til en eventuel fejl ved at skifte delene én ad gangen.

### 3.7.3 Når fliserne ikke kan løftes

Det sker af og til, at nye fliser ikke kan løftes med det udstyr, man har til rådighed. Der kan være to hovedårsager til dette – enten skyldes det en fejl på maskinen/for lille maskine, eller at fliserne er behæftet med fejl. Forsøg har dog vist at det stort set altid er ved maskinen, at fejlen er.

#### 3.7.3.1 Fejl på maskinen

Maskinen kan være underdimensioneret, hvilket ofte er tilfældet. Er der tale om en anvendelig maskine med tilstrækkeligt luftflow, kan maskinen være behæftet med fejl. Det kan være tilstoppede luftfiltre eller slitage på pumpen/turbinen. Desuden kan det være utætheder forskellige steder på maskinen.

Ofte ses det, at den skumlæbe, der er mellem mundstykket og flisen, er defekt. Enten er den direkte i stykker eller blot stivnet eller deformeret enkelte steder. Ved udskiftning af filtre eller skumlæbe (evt. blot oplødning i varmt vand), kan problemet ofte løses.



Figur 3.68. Vakuumløfteudstyret har flere dele der skal være fokus på: 1. Pakning ved mundstykke. 2. Luftfilter ved pumpe/turbine. 3. Pumpe/turbine (mhp. slidtage). 4. Utætheder ved samlinger.

#### 3.7.3.2 Porøse fliser

Betonfliser vil som nævnt altid have en vis porøsitet, men via de kvalitetskrav, der er til styrke og frostbestandighed, bør porøsiteten ikke kunne blive så stor, at korrekt dimensioneret og vedligeholdt udstyr ikke kan løfte fliserne.

Er der fliser der ikke kan løftes, og kan der ikke konstateres fejl ved udstyret, kan man kontrollere om udstyret har tilstrækkelig løfteevne ved at bore 1 stk. 6 mm gennemgående hul i en fortovsflise (80 x 62,5 x 7 cm) eller 2 stk. 6 mm huller i en 50 x 50 x 5 cm flise. Vakuumløfteren skal netop kunne løfte disse for at have tilstrækkelig løfteevne til at være velegnet. Kan de ikke løftes skal fokus rettes mod maskinen. Kan fliserne løftes må fliseproducenten kontaktes for at aftale en inspektion af fliserne.

Med mindre vakuumløftere ses det ofte, at hvor nye betonfliser ikke kan løftes, så kan fliser, der har været udlagt i nogle måneder eller år, løftes uden problemer. Det skyldes, at når fliserne er udlagt, vil porerne blive fyldt med de fine partikler fra fugegruset, støv fra omgivelserne og fugt. Endvidere vil der altid foregå en udfældning af kalk enten inde i stenen eller på overfladen, hvilket også er med til at tætne flisen.



## 3.8 Permeable belægninger

Projektering, udførelse og vedligeholdelse af permeable belægninger adskiller sig væsentligt fra traditionelle belægninger. Det følgende bygger på diverse kilder og bedst tilgængelig viden, men projektering og udførelse af permeable belægninger bør dog altid ske under sagkyndig vejledning til det specifikke projekt.

### 3.8.1 Formål

Formålet med permeable belægninger er at nedsive regnvand gennem befæstelsen, modsat normalt hvor belægningen laves så tæt som muligt for at undgå at der trænger vand ned i de underliggende gruslag. Fra de underliggende permeable gruslag, skal vandet, afhængig af underbundens sammensætning, enten nedsives i underbunden, eller ledes videre i dræn – eller en blanding af de to hvor der nedsives og eventuelt overskydende vand ledes videre i dræn.

Dermed mindskes den mængde vand der ledes til kloakken og/eller vandet forsinkes og spidsbelastninger udjævnes.

#### 3.8.1.1 Fordele ved permeable belægninger

Hovedformålet med permeable belægninger er som nævnt at mindske belastningen på kloaknettet, men derudover er der også en række sekundære fordele ved anvendelsen af permeable belægninger:

- I de tilfælde hvor alt regnvand nedsives vil en del af tilslutningsbidraget til kloaknettet ofte kunne spares eller tilbagebetales.
- Da der ikke skal være afløbsriste, kan man lave en plan belægning, der kun behøver fald i én retning og i nogle tilfælde kan laves helt vandret.
- Der vil ikke stå vand i eventuelle mindre lunger.
- Ingen eller mindre udgifter til etablering af afløbssystem.

#### 3.8.1.2 Belægningstyper

Som øverste lag i en permeabel belægning kan der både anvendes permeabel asfalt, beton samt betonsten som enten er permeable eller hvor fugen nedsiver vandet. Betonsten med nedsivning via fugen har dog en lang række klare fordele, som gør den absolut mest velegnet i langt de fleste tilfælde. Den største fare for en permeabel belægning er at den tilstoppes så regnvandet ikke ledes hurtigt nok væk. Sker dette for en betonstensbelægning med drænfuger, er det forholdsvis enkelt at rense fugen og dermed genetablere nedsivningsevnen – dette kan kun vanskeligt lade sig gøre for de øvrige belægningstyper jf. "The design, construction and evaluation of permeable pavements in Australia". Til permeable belægninger findes der et større udvalg af betonsten, der er konstrueret så fugearealet bliver væsentligt større end normalt, eventuelt kombineret med huller i stenene. Normalt udgør det permeable areal/fugearealet omkring 10 %.

#### 3.8.1.3 Vandkvalitet

Det nedsivede vand gennemgår en effektiv rensning mens det passerer de forskellige lag i opbygningen, samt selve underbunden.

Endvidere er de oplagte arealer til permeable belægninger typisk meget lidt trafikerede. Det vil typisk være p-pladser, boligveje med videre,

Fjernelse af forureningstyper	
Suspenderet stof	60-95 %
Kulbrinter	70-90 %
Fosfor, total	50-80 %
Kvælstof, total	65-80 %
Tungmetaller	60-95 %

Figur 3.69. Resultater fra engelsk undersøgelse af rensningsevnen i permeable belægnings, jf. "Understanding permeable paving".

## 3.8.2 Forudsætninger og virkemåde

For at få en velfungerende permeabel belægning, der ikke medfører forureningsrisiko for grundvand og andet, er der en række forudsætninger der skal være opfyldt. En del af forudsætningerne er dem der kendes fra nedsivningsanlæg:

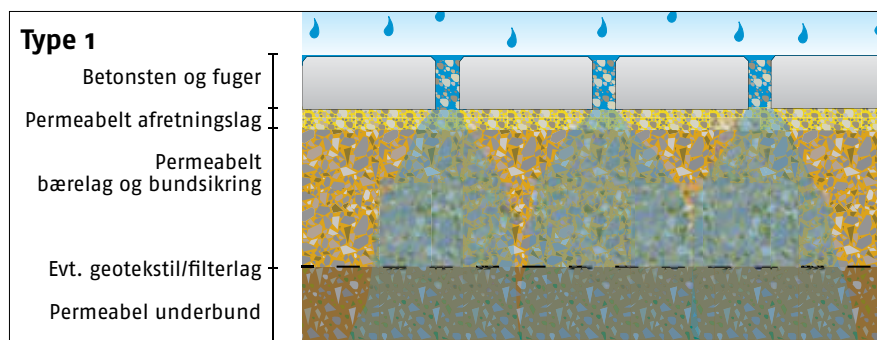
- Må kun anvendes ved vandindvindingszoner, hvis der er placeret en vandtæt membran under befæstelsen.
- Må ikke anvendes på områder, hvor der håndteres eller opbevares stoffer der er skadelige, hvis de tilføres grundvandet (f.eks. brændstof).
- Bør ikke anvendes på arealer med meget intensiv trafik, da megen trafik giver mere forurening.
- Afstand fra planum til grundvandsspejl skal være minimum 1 m, både for at sikre tilstrækkelig nedsivningsevne, men også tilstrækkelig rensning af vandet.
- Der skal sørges for, at vandet ikke kan skade bygninger ved nedsivning, dvs. der skal minimum sikres en afstand på 2 m til bygninger fra den permeable belægning. Alternativt kan der anvendes en vandtæt membran.
- Bør ikke anvendes hvor væsentligt tilsmudsning forekommer, det kan eksempelvis være hvor der håndteres jord eller grus.
- Der bør ikke saltes, da saltet kan frigive de tungmetaller der bindes i befæstelsen.

### 3.8.2.1 Tre typer opbygninger

Der er som nævnt tre forskellige måder at anvende permeable belægnings på. Nedenstående er de tre principper illustreret:

#### Nedsivning af alt regnvand

Kan anvendes når underbunden er tilstrækkelig permeabel, hvilket i praksis vil sige at den skal være meget sandet.

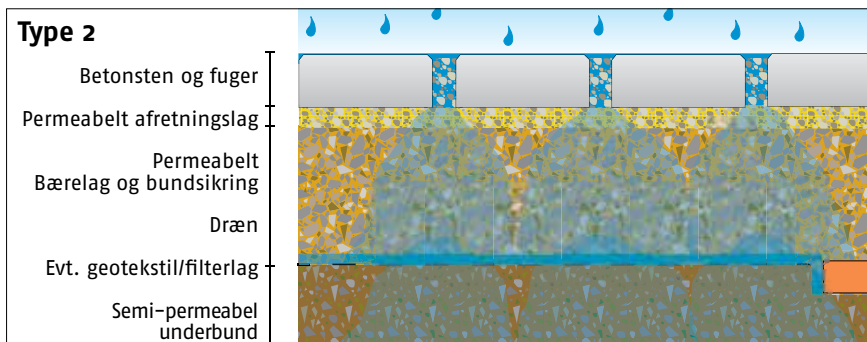


Figur 3.70. Type 1 belægning.



### Delvis nedsivning af regnvand

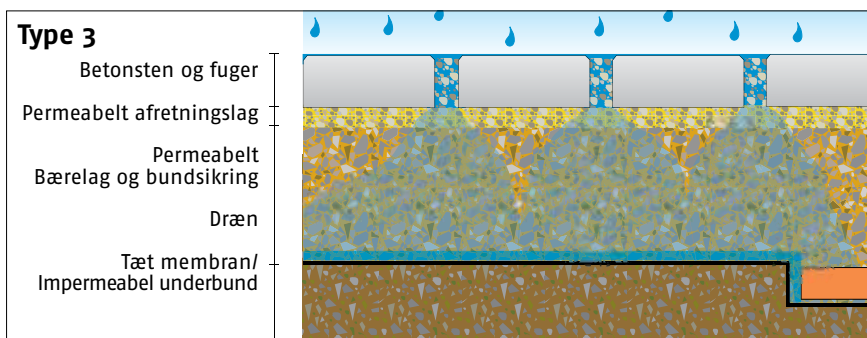
Når underbunden ikke er tilstrækkelig permeabel til at alt regnvand kan nedsives, kan den del der ikke nedsives ledes væk i dræn, til afløbssystemet eller anden recipient.



Figur 3.71. Type 2 belægning.

### Ingen nedsivning af regnvand

Har underbunden kun minimal nedsivningsevne, eller der ikke kan nedsives af andre årsager, kan befæstelsen benyttes som forsinkelsesbassin. Vandet ledes væk i dræn fra bunden af befæstelsen til afløbssystemet eller anden recipient. Derved mindskes spidsbelastninger i afløbssystemet. Løsningen kan også anvendes hvor det ønskes at genanvende vandet til vanding eller andet.



Figur 3.72. Type 3 belægning.

## 3.8.2.2 Dimensionsgivende regnskyl

I Danmark dimensioneres regnvandssystemer typisk for en regnintensitet på 110 l/s/ha, der overskrides én gang hvert år.

Men der bør vælges en større sikkerhed i nedsivningssystemer som permeable belægninger, da der er en større usikkerhed på nedsivningsevnen af råjorden og de gruslag der udlægges. Desuden vil det variere fra sted til sted hvorledes nedsivningsevnen i fuger og afretningsslag vil aftage. Det vil derfor være fornuftigt at vælge en lavere overskridelsesfrekvens, f.eks. én gang pr. 5. år, svarende til en regnmængde på 190 l/s/ha.

### Nedsivning i hele levetiden

Belægningens nedsivningsevne vil aftage i løbet af belægningens levetid, men hovedsagligt i de første 5 år sker der en væsentlig reduktion, hvorefter nedsivningsevnen er rimelig konstant, jf. "Permeable pavements" og "The design, construction and evaluation of permeable pavements in Australia".

Nedsivningsevnen kan falde til mellem 10-50 % af nedsivningsevnen af den nye belægning, men da permeabiliteten som ny belægning er

En overskridelse pr. 5 år

mange gange større end nødvendigt, er dette sjældent et problem. Jf. "The design, construction and evaluation of permeable pavements in Australia" viser undersøgelser, at selv 8-11 år gamle belægnings, der ikke var blevet systematisk vedligeholdt med hensyn til opretholdelse af nedsivningsevnen, gennemsnitlig havde en nedsivningsevne på 800 l/s/ha, hvilket er dobbelt så højt som den nødvendige nedsivningsevne i Danmark (380 l/s/ha, se boks "Nødvendig permeabilitet").

Når det er et system med aftagende kapacitet, betyder det, at det teoretisk set først er i den sidste del af levetiden, at kapaciteten overskrides én gang hvert femte år. Er kapaciteten overskredet, vil der stå vand på belægningen et kort stykke tid. Det er derfor vigtigt, at belægningen designes så vandet ikke kan skade bygninger eller andet, de gange hvor kapaciteten overskrides.

Det optimale er, at sikre at vandet kan løbe af belægningen til for eksempel grønne arealer eller via et nødoverløb til et afløbssystem.

Hvor stor reduktionen af nedsivningsevnen er afhænger af flere ting. Sammensætningen af materialet i fuger og afretningslag er afgørende for, hvor meget og hvor hurtigt finstof kan reducere permeabiliteten – jo finere fugemateriale jo hurtigere reduktion.

Modtager det permeable areal også vand fra andre arealer, vil det øge mængden af finstof der tilledes og reduktionen sker hurtigere.

Sidst men ikke mindst vil anvendelsen af arealet samt omgivelserne have stor indflydelse på hvor meget og hvilken type partikler der tilledes. Hvis der for eksempel i nærhed håndteres jord eller sand og grus, vil støv derfra medføre hurtigere/større reduktion af nedsivningsevnen.

### Vedligeholdelse af nedsivningsevnen

Det tilrådes fra start af at sørge for en plan for vedligeholdelse af nedsivningsevnen.

Ved at have en fastlagt vedligeholdelsesplan sikres det, at der ikke først kommer opmærksomhed på det, hvis der opstår problemer.

Vedligeholdelsen består af efterfyldning af fuger, renholdelse og eventuelt oprensning af fugerne.

En årlig overkørsel med en feje-/sugemaskine og efterfølgende efterfyldning af fugerne med nyt fugegrus vil være med til at opretholde en større nedsivningsevne.

Dette kan eventuelt suppleres med decideret oprensning af fugerne med specialkøretøj.

### Nødvendig permeabilitet

Når permeabiliteten eller nedsivningsevnen af jord og grus måles, så starter testen med at vandmætte jorden.

I brugstilstanden vil befæstelsen og råjorden ikke være vandmættet, og permeabiliteten i den ikke vandmættede tilstand er mindre end i den mættede tilstand.

Forskellen er ca. en faktor 2.

Den regnmængde der skal dimensioneres for er normalt 190 l/s/ha, hvilket svarer til en permeabilitet på:

$0,19 \text{ m}^3/\text{s}/\text{ha}$  (190 l/s/ha) kræver en permeabilitet ( $k_f$ ) på  $1,9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ , men da brugssituationen er i ikke-mættet tilsand hvor  $k_f$  er ca. halvt så stor skal der måles en  $k_f$  på:

$2 \cdot 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} = 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  svarende til 380 l/s/ha.

Dette er minimumsværdien, og der skal tages højde for fugearealet og den reduktion i permeabiliteten der altid vil komme i fugen.

### 3.8.3 Forundersøgelser

Før en permeabel befæstelse kan anlægges, er der en del forundersøgelser der skal gennemføres. Det er både rent administrative undersøgelser, men også undersøgelser i felten.

#### 3.8.3.1 Vandindvindingszoner

Det skal undersøges om der er vandindvindingszoner i nærheden af lokaliteten. Er det tilfældet må der ikke nedsives, men der kan stadig anlægges en type 3 løsning, hvor befæstelsen benyttes som forsinkelsesbassin.

#### 3.8.3.2 Anvendelse af arealet

Den fremtidige anvendelse af arealet skal undersøges grundigt. På permeable arealer bør der ikke håndteres stoffer (f.eks. kemikalier) der er skadelige, hvis de tilføres grundvandet.

Endvidere skal der ikke foregå håndtering af jord og grus eller andet, der kan tilstoppe fugerne.

#### 3.8.3.3 Trafikmængde

Permeable belægninger bør af flere grunde kun anvendes hvor der er begrænset trafik, og det vil sige maksimalt i trafikklasse T2 jf. vejregel for dimensionering (maks. 75 lastbiler i begge retninger pr. døgn).

Permeable belægninger bør ikke anvendes på arealer med meget intensiv trafik, da megen trafik giver mere forurening. Endvidere vil de permeable bærelag ofte have mindre bæreevne, og dermed kunne tåle mindre trafik.

#### 3.8.3.4 Afstand til bygninger

Der skal sørges for, at vandet ikke kan skade bygninger i nærheden ved nedsivning, dvs. der skal minimum sikres en afstand på 2 m til bygninger fra den permeable belægning. Alternativt kan der anbringes en vandtæt membran under befæstelsen i disse områder.

#### 3.8.3.5 Afstand til grundvandspejl

Afstanden fra planum til grundvandsspejl skal være minimum 1 m, både for at sikre tilstrækkelig nedsivningsevne, men også tilstrækkelig rensning af vandet. Hvis det observerede vandspejlsniveau er tæt på grænsen, bør det iagttages over en længere periode for at sikre at det ikke står højere i våde perioder. Er kravet ikke opfyldt vil det stadig være muligt at anlægge en type 3 løsning.

#### 3.8.3.6 Tykkelse af permeable lag

For at sikre tilstrækkelig nedsivningsevne, er det vigtig at undersøge tykkelsen af den permeable underbund. Tykkelsen af laget skal minimum være 1 m for at nedsivningsevnen kan forudsættes opretholdt. Er kravet ikke opfyldt vil det stadig være muligt at anlægge en type 3 løsning.

#### 3.8.3.7 Kontrol af nedsivningsevne

Forudsat at udfaldet af de ovennævnte undersøgelser er positivt, kan der nu laves en nedsivningstest som endelig kontrol på om lokaliteten er egnet til en permeabel befæstelse. Se efterfølgende boks om udførelsen af denne.

Afhængig af resultatet af denne test vil det kunne afgøres hvilken eller

## Test nedsivningsevne

hvilke løsninger der er mulighed for at anvende. Permeabiliteten angives ved permeabilitetskoefficient  $k_f$  der angiver hvor hurtigt vand passerer gennem jordlagene:

- **Type 1 – Nedsivning af alt regnvand**  
 $k_f > 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
- **Type 2 – Delvis nedsivning af regnvand**  
 $3,8 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} < k_f < 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
- **Type 3 – Ingen nedsivning af regnvand**  
 $k_f < 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

### Simpel nedsivningstest

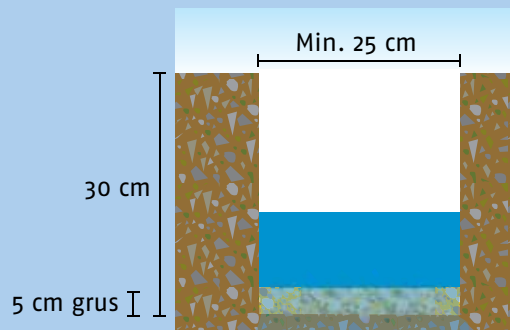
En simpel nedsivningstest kan udføres som følger<sup>3</sup>:

1. Der graves et hul på mindst 25 x 25 cm og 30 cm i dybden. Bunden af hullet skal være i den dybde hvor bunden af befæstelsen vil være.
2. Der lægges 5 cm grus i bunden af hullet.
3. Jorden skal nu vandmættes. Fyld vand i hullet til minimum 20 cm over gruslaget.
4. Hullet holdes fyldt i ca. 30 minutter.
5. Der måles nu hvor hurtigt vandet falder. Er 2 på hinanden følgende målinger ens, kan testen begynde. Ellers fortsættes med vandmætningen i 15 minutter mere.
6. Der tilsættes vand til vandspejlet er 10 cm over gruslaget.
7. Efter 10 minutter måles hvor meget vandet er faldet:

Mere end 25 mm: alt regnvand kan nedsives

Mellem 5 og 25 mm: en væsentlig del kan nedsives

Mindre en 5 mm: kun ubetydelige mængder kan nedsives.



Figur 3.73. Hullet til testen graves min. 25 x 25 cm stort. Bunden skal være i niveau med bunden af den planlagte befæstelse.

## 3.8.4 Dimensionering og projektering

Dimensionering og projektering af en permeabel befæstelse vil adskille sig væsentligt fra en traditionel belægning.

### 3.8.4.1 Bærelag og bundsikring

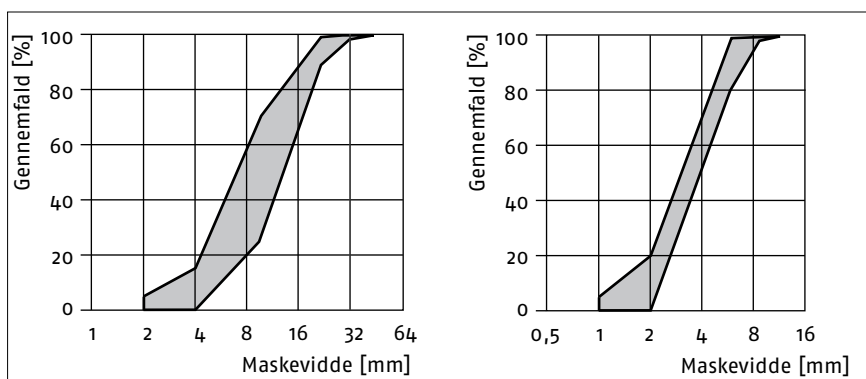
Bærelag og bundsikring skal opbygges af tilstrækkelig permeable materialer. I praksis anvendes ofte samme materiale til bundsikring og bærelag, da bærelaget på grund af den store permeabilitet også er egnet som bundsikring. Det vil normalt være nemmest ikke at håndtere to materialer.

Permeabiliteten i bærelaget skal minimum være  $3,8 \times 10^{-5} \text{ m/s}$  for at kunne nedsive et regnsky på 190 l/s/ha.

Ved store belastninger kan det for nogle typer materialer være nødvendigt at cementstabilisere dem. Det skal dog gøres under kyndig vejledning, og der skal udføres efterfølgende tests for at kontrollere at der stadig er tilstrækkelig nedsivningsevne.

### 3.8.4.2 Fuger og afretningslag

Fuger og afretningslag vil normalt bestå af samme materiale. Afretningslaget skal laves så tyndt som muligt, normalt  $30 \pm 10$  mm. Eftersom fugerne kun udgør ca. 10 % af belægningen, skal fugerne have en permeabilitet der er 10 gange større end bærelaget. Permeabiliteten i fuger og i praksis også afretningslaget, skal minimum være  $3,8 \times 10^{-4}$  m/s ved 10 % fugeareal, for at kunne nedsive et regnskyl på 190 l/s/ha. Imidlertid skal der her tages højde for den reduktion af permeabiliteten der vil komme med tiden, hvorfor permeabiliteten (eller fugearealet) skal være 2-10 gange større som udgangspunkt. Med fugemateriale som vist i figuren vil permeabiliteten i den nye fuge typisk være 10 gange større end nødvendigt.



Figur 3.74. Eksempel på kornkurve for bærelagsmateriale, jf. "Permeable pavements".

Materialet bør være knust.

Gennemfald i procent:

2 mm:	0-5 %
4 mm:	0-15 %
10 mm:	25-70 %
20 mm:	90-99 %
31,5 mm:	98-100 %
40 mm:	100 %

Figur 3.75. Eksempel på kornkurve for fuge- og afretningsmateriale, jf. "Permeable pavements".

Materialet bør være knust.

Gennemfald i procent:

1 mm:	0-5 %
2 mm:	0-20 %
6,3 mm:	80-99 %
10 mm:	98-100 %
14 mm:	100 %

### 3.8.4.3 Nødvendigt magasinvolumen

Dimensionering af bærelaget skal foretages både med hensyn til bæreevne, men også med hensyn til det volumen der er nødvendig for at opmagasinere den mængde vand der tilledes, inden det nedsives eller afledes på anden vis.

Bærelagsmaterialets porevolumen bør minimum ligge på 25-30 %.

Ved dimensioneringen skal der både tages hensyn til det vand der umiddelbart falder på arealet men også eventuelt tilsluttede arealer der tilleder vand til det permeable areal. Der vil typisk kunne regnes med at det permeable areal skal udgøre minimum 1/3 af det totale areal.

På arealer hvor underbunden kun delvis eller slet ikke kan nedsive vandet, skal placering og dimension på dræn- eller afløbsrør også fastlægges.

Placeringen af disse rør skal overvejes grundigt, således at vandet ikke løber direkte i disse og intet nedsives, eller forsinkelsen bliver for kort. En løsning er for eksempel at hæve rørene lidt over bunden af befæstelsen, så vandet først løber ind i rørene når det når et vist niveau. En anden løsning er at have afløbet i kanten af befæstelsen.

Eksempler på egnede materialer

## Eksempel på opbygning

I det følgende ses et eksempel på opbygning af en permeabel befæstelse, hvor alt regnvand nedsives.

Det er vigtigt at pointere at opbygningen ikke blot kan anvendes til andre befæstelser, da opbygningen af permeable belægningslag altid vil kræve sagkyndig vejledning, og dimensionering for hver enkelt lokalitet.

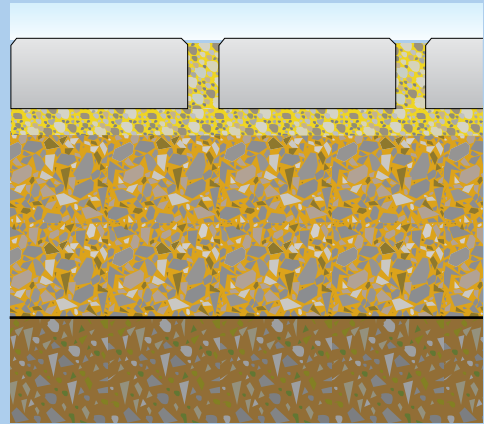
8-10 cm sten  
 $k_f = 3,8 \times 10^{-4}$  m/s ved 10 % fugeareal.

30 ± 10 mm,  $k_f$  som i fuger.

Typisk 30-50 cm bærelag afhængig af belastning, underbund og nødvendigt magasinvolumen, samt bærelagsmateriale.  
 $k_f = 3,8 \times 10^{-5}$  m/s

Geotekstil mellem bærelag og underbund.

Bæredygtig underbund.



Figur 3.76. Typisk opbygning af permeabel belægning.

## 3.8.5 Udførelse

I det følgende gennemgås hovedsageligt de forhold der adskiller sig fra udførelsen af en traditionel belægning med betonsten.

### 3.8.5.1 Underbunden

Det bør kontrolleres efter udgravning, at underbunden besidder den forudsatte nedsivningsevne ( $3,8 \times 10^{-5}$  m/s hvis der skal kunne nedsives et regnskyl på 190 l/s/ha). Dette kan udføres med den tidligere viste nedsivningstest.

Der skal være opmærksomhed på eventuel fare for opblanding af råjord i bærelagsmaterialet som er forholdsvis groft og åbent. Det vil derfor ofte være nødvendigt med en geotekstil for at holde lagene adskilt, men den skal være meget permeabel, således at den ikke slemmer til med tiden. En anden mulighed er at lægge 5 cm filterlag ind mellem råjord og bærelag. Skal regnvandet nedsives i underbunden, må underbunden ikke bruges som kørevej eller på anden måde udsættes for trafik der kan medføre, at permeabiliteten nedsættes.

Skal vandet ikke nedsives og er befæstelsen projekteret med en vandtæt membran, bør arealet gennemgås for sten og andet, der vil kunne beskadige membranen. Endvidere bør der udlægges og komprimeres 5-10 cm velgraderet 0-4 mm sand, under membranen.

### 3.8.5.2 Bærelag

Der skal hele tiden være fokus på at bærelagsmaterialet ikke afblander eller forurenes med andre materialer. Eksempelvis må materialet ikke udlægges og benyttes som kørevej, da der er stor risiko for, at det vil nedsætte permeabiliteten. Skal der være en kørevej kan der udlægges asfalt ovenpå, som så fjernes eller perforeres (perforeringen skal svare til ca. 15 % af arealet, og opfyldes med afretningsgrus).

Der skal heller ikke opbevares andre materialer på bærelaget. Bærelaget komprimeres med pladevibrator.

Undgå forurening af grusmaterialer



Figur 3.77. Vibrering af bærelag uden finstof og med ca. 30 % porevolumen.

### 3.8.5.3 Afretningslag

Det skal sikres, at materialet til afretning ikke forurenes med andre materialer.

Det er vigtigt, at laget ikke bliver for tykt, da styrken ikke er lige så god som i bærelaget. Laget udlægges i  $30 \pm 10$  mm tykkelse. For at kunne overholde dette krav skal bærelaget være rettet meget præcist af.

Laget skal ikke komprimeres, det bliver det når betonstenene vibreres til sidst.

### 3.8.5.4 Betonstenslag

Betonstenene kan udlægges manuelt, men de fleste typer kan også lægges med maskine. Stenene skal lægges med den af producenten foreskrevne fugebredde.

Belægningen fuges løbende med det korrekte fugemateriale for at låse stenene fast.

Belægningen skal kantsikres som alle andre stenbelægnings for at være stabil.

Når hele arealet er udlagt, vibreres der inden fugerne fyldes helt, da det grove fugemateriale ellers nemt hopper op ad fugen og knuses af vibratoren.

Belægningen vibreres med en pladevibrator på min. 180 kg, med en frekvens på min. 90 Hz og en slagkraft på max.  $200 \text{ kN/m}^2$  (slagkraft/kontaktareal). Der køres én gang på langs og én gang på tværs med 50 % overlap. Der efterfyldes med fugemateriale og renfejes efter sidste overkørsel.



Figur 3.78. Udlægning af sten på permeabelt underlag. Bemærk det grove afretningsmateriale.

Det skal sikres, at fugematerialet ikke er forurenet med andre materialer, og det skal også sikres, at vand fra andre arealer ikke kan føre sand og grus med ind på belægningen. Specielt hvor traditionelle belægninger afvander til den permeable belægning, skal der være opmærksomhed på, at vandet ikke fører overskydende almindeligt fugegrus med ind på den permeable belægning.

### 3.8.6 Opretholdelse af nedsivningsevne

Belægningen vedligeholdes som andre betonstensbelægninger, men der er nogle punkter hvor vedligeholdelsen adskiller sig fra den traditionelle, fordi der hele tiden skal være fokus på at undgå tilslemning af fugerne.

#### 3.8.6.1 Efterfyldning af fuger

Fugerne skal til stadighed være fyldt med korrekt fugemateriale. Halvtomme fuger samler væsentligt mere smuds og ukrudtsfrø der er med til at nedsætte nedsivningsevnen. Desuden er det vigtigt af hensyn til stenenes stabilitet.

#### 3.8.6.2 Rensning af fuger

For at være sikker på at opretholde nedsivningsevnen i hele belægningens levetid, kan der foretages en systematisk oprensning af fugerne. Normalt vil en overkørsel med en egnet feje-/sugemaskine være tilstrækkeligt.

Det afhænger af den enkelte lokalitet og omgivelserne om det bør være én gang pr. år eller sjældnere.

Er fugernes nedsivningsevne blevet væsentligt nedsat, kan det være nødvendigt, at anvende et specialkøretøj der både spuler og suger. Husk altid efterfølgende at tjekke fugerne med henblik på efterfyldning.

#### 3.8.6.3 Glatførebekæmpelse

Af forureningshensyn, skal det undgås at benytte tørsalt. Glatførebekæmpelsen gøres bedst med grusning med samme materiale som der anvendes til fugefyldning. Almindeligt grus må ikke anvendes da det vil tætte fugerne.

Sne fejes væk med kost. Undgå brug af skraber/skovl, da de kan ødelægge overfladen på visse typer sten.



Figur 3.79. Oprensning af fuger, med specialkøretøj der spuler og suger.



# 4 Drift og vedligeholdelse

- 4.1 Vejregler, normer, standarder og vejledninger
- 4.2 Renholdelse
  - 4.2.1 Alger og anden bevoksning
- 4.3 Kalkudfældninger
  - 4.3.1 Dannelse af kalkudfældninger
  - 4.3.2 Begrænsning af kalkudfældninger
  - 4.3.3 Kalkudfældninger forsvinder med tiden
- 4.4 Ukrudtsbekæmpelse
  - 4.4.1 Forbyggelse af ukrudtsvækst
  - 4.4.2 Bekæmpelse af ukrudt
- 4.5 Vedligeholdelse af fuger og kanter
  - 4.5.1 Vedligeholdelse af fuger
  - 4.5.2 Vedligeholdelse af kanter
- 4.6 Reparationer og retablering
  - 4.6.1 Opgravning i belægningen
  - 4.6.2 Retablering af befæstelsen
  - 4.6.3 Lunker og sporkøring
- 4.7 Vintervedligeholdelse

Betonsten og -fliser er robuste produkter fremstillet af velkendte naturmaterialer, og selve betonbelægningen er derfor stort set vedligeholdelsesfri. Betonbelægningens udseende vil forandre sig med tiden, bl.a. bliver flere af stenene i betonens overflade synlige på grund af slid og belægningens farvenuance vil ændres med tiden på grund af vejrpåvirkningen og slid. Det er først efter 1-2 års brug, når det øverste betonslam er slidt af og tilslagsmaterialer kan skimtes, at belægningen får det rigtige udseende og fremstår som et naturprodukt.

Øvrige forandringer er meget afhængig af, om arbejdet er udført korrekt ved lægningen. Her tænkes specielt på opbygning af bærelag og fuger samt sikring af kanter. Korrekt udførte og vedligeholdte belægninger kan være meget flotte selv efter 25 års brug.

# 4.1 Vejregler, normer, standarder og vejledninger

Udvalget af anvisninger med videre indenfor drifts- og vedligeholdelsesområdet begrænser sig stort set til "Vejregel for vedligehold af færdselsarealet". Derudover eksisterer der bogen "Befæstelser i anlægsgartneriet".

Der er i vejreglen opstillet et system til klassificering af skader, hvor en skade tildeles point alt efter dens størrelse og udbredelse på arealet. Dette er et udmærket værktøj til at styre driften og vedligeholdelsen efter. Desuden er der angivet reparationsmetoder til forskellige skader.

## Skema for visuelt eftersyn Sten - og flisebelægninger

BILAG 9.3

Parcel	Belægning	Eftersyn
Lokalitet:	Type:	Foretaget Dato: Kl.:
Vejnavn/nr.:	Anlægsår:	Næste eftersyn Dato:
Stationering Fra: Til:	Vurderet restlevetid:	Initialer:

Observation	Alvorlighed	Bedømmelse					Bemærkninger
		Kategori			Omfang		
		0	A	B	C	%	Abs. mål
5.3.1 Kanter	Kant < 1 cm	1					
	Kant 1-2 cm	2					
	Kant > 2 cm	3					
5.3.2 Lunker og sætninger	Dybde < 2 cm	1					
	Dybde 2-4 cm	2					
	Dybde > 4 cm	3					
5.3.3 Sporkøring	Dybde < 2 cm	1					
	Dybde 2-4 cm	2					
	Dybde > 4 cm	3					
5.3.4 Knækkede fliser	(alvorlighed beskrives under bemærkninger)						
5.3.5 Afskaininger	(alvorlighed beskrives under bemærkninger)						
5.3.6 Manglende sten og fliser	(alvorlighed beskrives under bemærkninger)						
5.3.7 Manglende fugemateriale	Dybde < 1 cm	1					
	Dybde 1-2 cm	2					
	Dybde > 2 cm	3					
5.3.8 Defekte kantsten	(alvorlighed beskrives under bemærkninger)						
5.3.9 Ujævnt kantstensforløb	Forskydning < 1,5 cm	1					
	Forskyd./sætn. 1,5-5 cm	2					
	Forskyd./sætn. > 5 cm	3					
5.3.10 Skader ved riste, dæksler o.l.	(alvorlighed beskrives under bemærkninger)						
5.3.11 Mangelfuldt længde- eller tværfald	Små < 0,5 m <sup>2</sup>	1					
	Middelstore 0,5-5 m <sup>2</sup>	2					
	Støre > 5 m <sup>2</sup>	3					

Vedligehold af færdselsarealet

Figur 4.1. Skema til klassificering af skader. "Vejregel for vedligehold af færdselsarealet".

## Systematisk registrering af skader

### Kanter



**Beskrivelse:** Kanter er vertikale forskydninger mellem belægningens fliser/sten indbyrdes og mellem belægningen og tilstødende kantsten/belægningsfliser.

**Inspektionsmetode:** Kanter måles i cm.

**Bedømmelseskriterier:** Skadens alvorlighed vurderes efter følgende gradering af kantens højde:

- 1 kant < 1 cm
- 2 kant 1–3 cm
- 3 kant > 3 cm

Skadens omfang vurderes i procent af parcellens areal efter følgende kriterier:

- Intet observeret
- o Ubetydeligt omfang < 2 %
- A Ringe omfang 2–10 %
- B Udbredt omfang 10–50 %
- C Betydeligt omfang > 50 %

**Skadesårsager:** Mangelfuld bæreevne  
Efterkomprimering  
Frost/tø  
Mangelfuld retablering efter opgravning  
For tung belastning  
Rødder eller anden vegetation.

Figur 4.2. Eksempel på definition af skader og bedømmelseskriterier (her for kanter). Fra "Vejregel for vedligehold af færdselsarealet".

## 4.2 Renholdelse

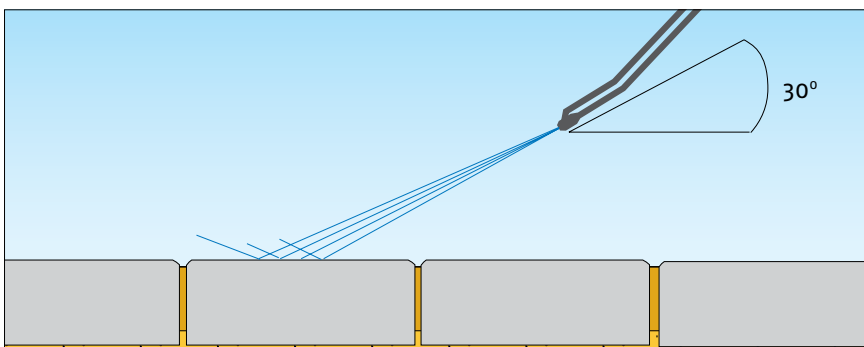
På offentlige arealer benyttes typisk feje-/sugemaskiner til renholdelse. Benyttes de på belægninger med fuger, som betonsten og -fliser, skal man være opmærksom på, at der er risiko for at maskinerne fjerner fugematerialet. Specielt i det første år bør der køres med begrænset sug og tryk på børsterne. Det skal jævnligt kontrolleres, at fugematerialet ikke fjernes.



Figur 4.3. Der skal udvises forsigtighed ved anvendelse af feje-/sugemaskiner på belægninger med fuger, da der er risiko for at fugematerialet suges op.

På pladser og veje vil betonsten og -flisers farve ændres langsomt med tiden på grund af organiske og uorganiske urenheder fra luften, og fordi trafikken afsætter gummi med videre i overfladen. Overfladen vil blive en anelse mørkere med tiden. Jævnlig rengøring med vand og kost eller højtryksrensere kombineret med et rengøringsmiddel fjerner de fleste urenheder. Helt grundlæggende gælder, at det er bedre at "holde rent" fremfor at "gøre rent", dvs. jævnligt at feje belægningen fremfor at højtryksrense den en gang om året.

Ved højtryksrensning skal man undgå at beskadige betonen, dvs. lavt tryk og/eller stor afstand fra dyse til sten. Det er meget vigtigt at sikre, at betonens overfladeruhed ikke øges, evt. ved først at prøve på et ikke synligt sted. Hvis betonens overfladeruhed øges, bliver den fremover mere modtagelig over for urenheder. Hvis der anvendes en højtryksrenser, må vandstråleretningen højst have en vinkel på 30° med fliseplanet, idet en større vinkel kan medføre, at fugegruset hvirvles op.



Figur 4.4. Hvis der anvendes højtryksrensere skal strålens vinkel med vandret maks. være 30°.

Forsigtighed med feje-/  
sugemaskiner

Højtryksrensning

Fjernelse af diverse pletter

Nedenstående er en oversigt over hvordan forskellige urenheder kan fjernes. Gamle eller særligt store/massive pletter kan kræve udskiftning af sten. For at nye sten ikke skal skille sig ud fra de øvrige kan de byttes ud med sten under en busk eller lignende. Er dette ikke muligt kan de nye sten evt. "vaskes" i en blanding af vand og snavs fra eksempelvis tagrenden.

Urenheder	Rengøringsmetode
Alger og mos	<b>Grønne alger</b> forsvinder når den fugtige tid er ovre. Om nødvendigt kan de fjernes med algefjerner eller klorin fortyndet 1:1. <b>Mos</b> kan skrubes op af fugerne - efterfyld med fugegrus.
Tyggegummi	<b>Tyggegummi</b> oplødes med rens benzoin og skrubes af.
Olie	<b>Frisk våd olie</b> suges op med papir, savsmuld, kattegrus eller andet sugende produkt. <b>Olie som er trykket ned i belægningen</b> , vaskes med motorrens og dækkes med kattegrus eller lign. i ét døgn. Olie skader ikke belægningen.
Træimprægnering	<b>Træimprægnering</b> suges op med papir eller en klud. Vædes herefter med terpentin og dækkes med en klud eller papir i ét døgn.
Maling	<b>Vandbaseret våd maling</b> suges op med papir eller en klud. vaskes herefter med vand. <b>Våd maling på oliebasis</b> suges op med papir eller en klud og dækkes med savsmuld eller andet olieabsorberende produkt i ét døgn. <b>Tør maling</b> skrubbes af med sand og en belægningssten. <b>Dybt indtrængt maling</b> brændes forsigtigt af med en blæselampe.
Rust (afsmitninger fra biler med videre)	<b>Rust</b> fjernes med Borup Rustfjerner eller lign. Dyb rust fjernes med en pasta af lige dele 15 % natriumcitrat og glycerol. Pastaen skal sidde på i 2-3 dage før afskrabning og afvaskning.

Tabel 4.1. Fremgangsmåde for fjernelse af diverse urenheder.

## 4.2.1 Alger og anden bevoksning

Alger forekommer typisk på arealer på nordsiden af bygninger om efteråret og vinteren, dvs. fugtige steder. Det betyder også, at de normalt forsvinder når den fugtige tid er ovre.

Der forekommer normalt to former for alger på betonbelægninger. Den ene er den grønne alge, der er meget almindelig men også forholdsvis let at fjerne.



Figur 4.5. Den grønne alge er meget almindelig, og er rimelig let at fjerne. Algen ses på mange forskellige overflader, mure, biler, plankeværk, fliser, træer med videre.

Alger

Den anden type forekommer som pletter og er en lav-type. Lav gror på mure, tage, belægninger, havemøbler med videre. Det kan lade sig gøre fordi lav er sammensat af en alge og en svamp der lever i symbiose. Algen danner energi gennem fotosyntese, mens svampen beskytter algen mod bl.a. udtøring.

Da luftforureningen med svovl toppede forsvandt mange laver i byerne, men efter en forbedret røgrensning er de nu atter tilbage.

Laver er vanskeligere at fjerne end alger, men der findes forskellige midler der kan klare dette. Nærmere oplysninger kan fås ved henvendelse til betonstensproducenterne.



*Figur 4.6. De hvide/grålige lavbevoksninger er sværere at fjerne end de grønne alger, men der findes midler der klarer dette. Her et kraftigt angreb på 25 år gamle betonsten.*

Lav





## 4.3 Kalkudfældninger

Kalkudfældninger kan opstå på nye betonprodukter såsom betonsten, -fliser og -kantsten. Udfældningerne forsvinder normalt i løbet af 1-2 år. Kalkudfældninger kan ikke undgås, men hyppigheden, udbredelsen og den styrke de optræder med kan reduceres væsentligt ved at følge denne vejledning. Opstår der alligevel kalkudfældninger vil de være så svage, at de normalt kan fjernes igen. Det er dog vigtigt, at emner med kraftige udfældninger sorteres fra ved lægningen efter aftale med leverandøren.

### 4.3.1 Dannelse af kalkudfældninger

Kalkudfældninger opstår når vand i form af regn, dug og lignende trænger ned og fylder porerne på nye sten. Derved får opløst kalk (kalcium) i stenen mulighed for at trænge op til overfladen af stenen.

På overfladen af stenen fordamper vandet og kalkudfældningen (kalciumkarbonat), der er et hvidt, tungtopløseligt mineral, bindes på betonens overflade og giver det hvide slør.

Processen er med til at lukke betonens porer, så kalken får sværere ved at trænge op til overfladen. Processen fortsætter, men er ikke synlig længere, idet kalkudfældningen sker inde i betonen. Synlige kalkudfældninger opstår typisk indenfor det første halve år. Det er dog ikke alle sten hvor kalkudfældningen sker på overfladen af stenen, men derimod kun inde i stenen (ikke synlig).



Figur 4.7.

1. Fugt i form af regn, dug og kondensvand trænger ned i betonbelægningen og fylder porerne.
2. Opløst kalk transporteres med vandet op til overfladen af stenen.
3. Vandet fordamper og kalkudfældningen dannes. Kalkudfældningen kan også ske under overfladen af stenen og er i så fald ikke synlig.

Kalkudfældninger optræder med vekslende styrke, fordi betonen er underlagt visse variationer og fordi vejrforholdene ligeledes ændrer sig (regn, sne, blæst, kulde, varme).

Kalkudfældninger på stenens overflade vil blive nedbrudt af surregn og slid fra trafikken i løbet af 1-2 år, i særlige tilfælde op til 3 år. Kun i sjældne tilfælde er udfældningerne så kraftige, at de ikke forsvinder indenfor de første år af belægningens levetid.

#### 4.3.1.1 Kalkudfældninger skader ikke beton

Beton tager på ingen måde skade af kalkudfældninger. Der er blot tale om et rent kosmetisk fænomen, der ikke forkorter betonens levetid. Kalkudfældningerne er en helt naturlig proces i betonens hærdningsforløb, og medfører en tættere beton, da kalkudfældningen i betonen tætnet porerne. Derfor fremgår det også af produktstandarderne for betonsten, -fliser og -kantsten, at produkterne kan få kalkudfældninger, ligesom det i "Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde" fremgår, at kalkudfældninger forekommer og ikke har betydning for holdbarheden.

Kalkudfældninger kan være usynlige

Kalkudfældninger  
forsvinder af sig selv



Figur 4.8. Til venstre ses almindelige kalkudfældninger på farvede sten. Billedet til højre viser samme belægning 2 år senere. Det ses, at kalkudfældningerne er væk, hvilket skyldes almindeligt slid samt vind og vejr generelt.

Det er primært på terrasser, torve med videre, hvor udseendet er vigtigt, at fænomenet kan give anledning til diskussioner. På industripladser med videre hvor det er de funktionelle egenskaber der lægges vægt på, opfattes kalkudfældninger sjældent som et problem. Kalkudfældninger kendes også fra murværkskonstruktioner og andre betonkonstruktioner.

## 4.3.2 Begrænsning af kalkudfældninger

Der kan tages flere forholdsregler, som kan være med til at minimere kalkudfældningerne.

### 4.3.2.1 Kalkudfældninger kan opstå før levering

Kalkudfældninger kan opstå på produkterne før de leveres. Det er typisk på palleterede varer, at der kan være nogle lag, hvor der kan være fugtige forhold, der giver basis for, at kalkudfældningerne kan opstå. Disse kalkudfældninger kan, i sjældne tilfælde, være meget tykke i forhold til almindelige kalkudfældninger. Sådanne kraftige kalkudfældninger vil ikke forsvinde de første mange år, og det er derfor, af æstetiske hensyn, vigtigt, at de ikke indbygges i belægningen.

Da produkter med kraftige kalkudfældninger kan være placeret inde midt i en palle sten, er det umuligt for betonvarefabrikken at få disse sten sorteret fra.

### 4.3.2.2 Modtagekontrol

Det er nødvendigt, at der er en effektiv modtagekontrol for at undgå, at produkter med meget kraftige kalkudfældninger indbygges i belægningen. Det er ved lægningen den udførendes ansvar, at sådanne sten ikke indbygges. Konstateres kraftige udfældninger, skal leverandøren kontaktes for at aftale det videre forløb. Man skal være opmærksom på, at lægges stenene i regnvejr, er det sværere at se eventuelle kalkudfældninger på stenene.

Kalkudfældningerne opstår først, når stenene er stablet på paller og ofte også efter, at de er leveret. Det er derfor en fordel, at lægge stenene umiddelbart efter de er leveret, og i hvert fald undgå at stenene står på paller i flere måneder inden de lægges. Sten der er leveret i efteråret, og først lægges til foråret, har langt større risiko for at få nogle meget kraftige udfældninger. Kan længere tids opbevaring ikke undgås, bør stenene stå tørt så de ikke udsættes for fugt i form af regn, kondens osv.

Meget kraftige  
udfældninger frasorteres



Figur 4.9. Kalkudfældninger opstår også ved oplagring på paller. Disse kalkudfældninger er almindelige og forsvinder som regel i løbet af 1-2 år.

#### 4.3.2.3 Korrekt udlægning og projektering

Som nævnt er fugten en vigtig faktor i udviklingen af kalkudfældninger. Det er derfor meget vigtigt, at der er en korrekt afvanding af belægningen. En utilstrækkelig afvanding af de forskellige lag i opbygningen vil øge fugtindholdet i stenene og dermed mængden af kalkudfældninger. Vandfyldte lunger vil øge risikoen for kalkudfældninger i disse områder, hvorfor et fald på min. 25 ‰ bør tilstræbes. Laves mindre fald, skal udførelsen være meget omhyggelig hvis vandfyldte lunger, og dermed øget risiko for kalkudfældninger, skal undgås. Skulle der efter lægningen opstå lunger skal disse rettes op.

Vigtigt med korrekt afvanding

Fald på min. 25 ‰

#### 4.3.2.4 Renholdelse

Det er vigtigt at sørge for en god renholdelse af belægningen under udførelsen. Det skal undgås, at belægningen bliver tilsmudset af sand og jord der slæbes ind på belægningen af maskiner eller fodtøj. Sker det, skal belægningen fejles ren og eventuelt rengøres med vand og kost. Problemet er, at snavs kan bindes af kalkudfældninger så de fremstår som mørke pletter i stedet for blot et hvidt slør.

Det samme forhold gør sig gældende med støv og smuds fra vibrering af sten samt skæring af sten, jernrør med videre. Derfor skal skæring undgås i nærheden af belægningen, eller også skal belægningen tildækkes. Inden vibreringen er det vigtigt, at belægningen fejles ren, for at undgå at sand, jord og betonrester knuses og bindes til stenene eller eventuelle kalkudfældninger. Endvidere anbefales det at benytte en kunststofsål til pladevibratoren for at skåne stenenes overflade.

Skæring af sten på belægningen skal undgås, fordi der altid vil være noget uhærdet cement i betonen, som frigives ved skæring af stenen, og dermed risikeres det, at slibestøvet bindes til overfladen. Slibestøvet vil altid have en anden farve end overfladen af belægningen.

God renholdelse under udførelsen mindsker kalkudfældninger

#### 4.3.2.5 Opbevar ikke materialer på belægningen

Opbevaring af jord, sand og grusmaterialer samt andet der kan holde på fugten på belægningen skal undgås, da det forøger mængden af kalkudfældninger.

Udover at materialerne vil holde på fugten, kan finstof/smuds fra materialerne bindes af kalkudfældninger. Dette giver nogle skæmmende mørke plamager.

Opbevaring af sand, jord med videre på belægningen kan forværre kalkudfældningerne



Figur 4.10. Disse skæmmende brunlige plamager er opstået, fordi kalkudfældninger har bundet finstof fra fugegrus, der har ligget på belægningen. Dette kunne være undgået ved at feje belægningen ren efter fugningen.

### 4.3.2.6 Fej belægningen ren efter fugning

Det har været almindeligt, at man lod fugegruset ligge på belægningen efter fugefyldning, for at der var materiale til efterfyldning, når fugerne blev efterkomprimeret af trafikken med videre. Dette er dog ikke tilrådeligt (i hvert fald ikke på belægninger hvor udseendet er vigtigt), da fugegruset også medvirker til at holde på fugten. Finstoffet i gruset kan også bindes af kalkudfældningerne. I stedet skal belægningens fuger efterfyldes ved at feje fugegrus ned og feje belægningen ren herefter. Dette vil også give en mere korrekt fugekonstruktion.

Brugen af stenmel med et stort indhold af finstof til fugemateriale kan være problematisk, da støv herfra kan bindes i kalkudfældninger og fordi det har en svag puzzolansk virkning, der forøger bindingen til stenene.

### 4.3.3 Kalkudfældninger forsvinder med tiden

Det er typisk sten der er støbt/lagt i forårs- og efterårsmånederne, der får synlige kalkudfældninger på grund af det mere fugtige vejr. Som nævnt vil disse almindelige kalkudfældninger forsvinde efter 1-2 år afhængig af påvirkningen fra vejr og trafik. Jo mere slid der er på belægningen, jo hurtigere forsvinder udfældningerne. Er der meget fugtige forhold, kan det forøge mængden af kalkudfældninger. Det kan eksempelvis være, hvis der opstår sætninger, så der kommer vandfyldte lunger, eller det kan være på nordsiden af bygninger. Som tidligere nævnt er det dog kun i det første halve år af belægningens levetid, at der opstår kalkudfældninger.

#### 4.3.3.1 Fjernelse af kalkudfældninger

Vil man ikke vente på at kalkudfældningerne forsvinder af sig selv, er der flere måder at fjerne udfældningerne på. Svage udfældninger kan fjernes ved at feje belægningen nogle gange med skarpt sand, f.eks. groft kvartssand. Er dette ikke tilstrækkeligt, kan man afsyre belægningen med en svag saltsyreopløsning. Der findes også flere specialmidler til formålet. Fælles for dem alle er, at de er baseret på en syre. Afsyring bør dog vente så længe som muligt, helst et år, ellers risikeres det at der opstår udfældninger igen.

Man skal ved afsyring passe på ikke at beskadige stenene eller eventuel beplantning omkring dem.

Teoretisk set kan det godt lade sig gøre at lave en saltsyreopløsning, der netop kan opløse kalksløret, og derefter er neutraliseret. I praksis er dette svært men ved at starte med en svag opløsning, undgår man at stenene beskadiges eller at saltsyre løber ud i bede med videre. Det er derfor bedre at afsyre to gange med en svag opløsning end én gang med en stærkere opløsning.

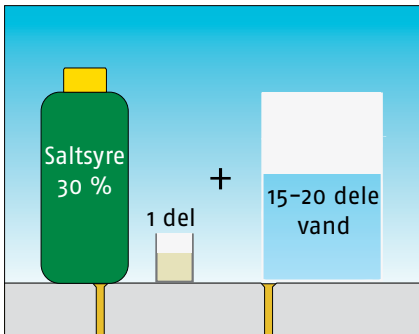


Figur 4.11. Ved afsyring af sten fjernes lidt af cementpastaen, så tilslaget bliver mere synligt, svarende til det slid der kommer i løbet af ca. ét år. Til venstre ses en ny sten, i midten en afsyret sten og til højre en ca. 1 år gammel sten.

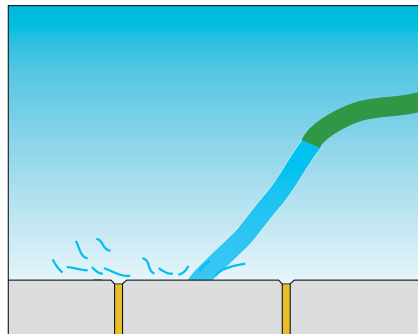
### Fremgangsmåde til fjernelse af kalkudfældninger med syre

Ved kraftige kalkudfældninger kan man vælge afsyre belægningen. Det er meget vigtigt ikke at benytte en for stærk syreopløsning, da det kan skade stenene. Det er en god ide at prøve på et mindre areal, inden man behandler hele arealet, for at vurdere opløsningens styrke samt den tid opløsningen skal henligge. Afsyringen kan ændre stenenes udseende en anelse fordi lidt af cementpastaen fjernes. Dette har ingen betydning for stenenes levetid.

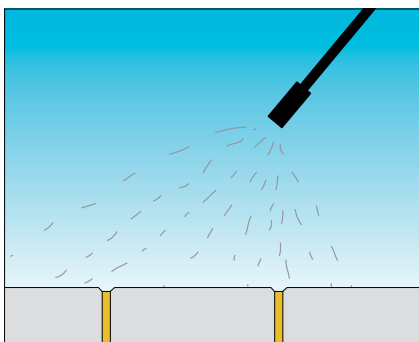
Afsyring fjerner  
kalkudfældningerne



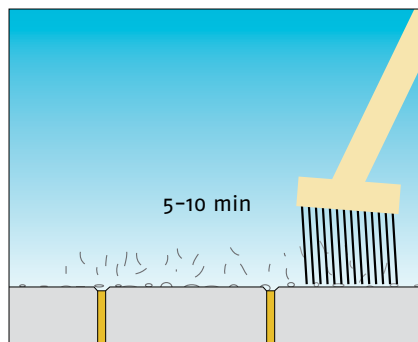
1. Der blandes 1 del 30 % saltsyreopløsning og 15-20 dele vand.



2. Belægningen skal forvandes før den afsyres, da der ellers er risiko for at skade stenene.

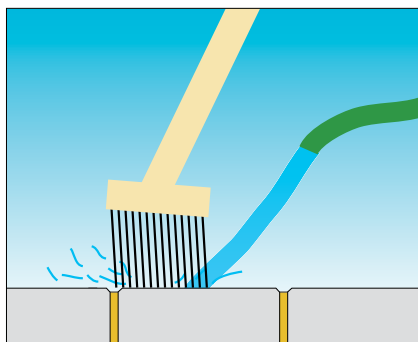


3. Opløsningen fordeles over arealet med en syre-resistent have-/giftsprøjte eller en kalkkost. Stenene skal kun have en meget lille mængde, svarende til at overfladen bliver let fugtet.

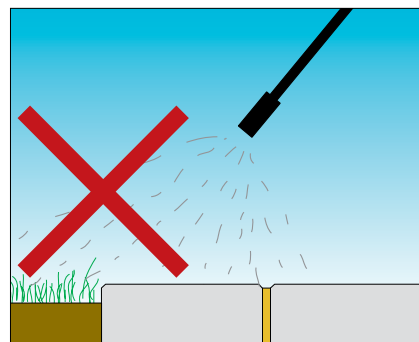


4. Opløsningen skal henligge ca. 5-10 minutter. Belægningen fejes imens med en stiv kost. Undgå at udføre det i meget varmt vejr/direkte solskin.

Fjernelse af  
kalkudfældninger



5. Belægningen fejes med en stiv kost, samtidig med at der skylles efter med vand.



6. Der skal under hele processen være opmærksomhed på, at omkringliggende beplantning med videre ikke beskadiges.

Figur 4.12. Fremgangsmåde ved afsyring af belægningen.

## 4.4 Ukrudtsbekæmpelse

Som med renholdelse er det også med ukrudtsbekæmpelse bedre at "forebygge" end at "helbrede".

### 4.4.1 Forbyggelse af ukrudtsvækst

Der er flere tiltag, der kan begrænse problemet med ukrudtsvækst:

- Der bør laves en god afgrænsning op til evt. beplantning.
- Tilsmudsning af belægning og fuger med muld skal undgås under såvel lægning som drift, idet der er mange ukrudtsfrø i muldjorden.
- Fyldte og velkomprimerede fuger forringer ukrudtets mulighed for at etablere sig:
  - Det er sværere for ukrudtsfrø at lægge sig i fugen
  - Ukrudtet kan ikke vokse uforstyrret mellem stenene
  - Der er god afvanding og dermed forholdsvis tørre fuger.
- Ved at feje belægningen ofte, stresses ukrudtet. Der hvor der er slid/trafik kommer der ikke ukrudt.
- Forsigtighed ved tilsåning af tilstødende arealer, så frø ikke spredes på belægningen.
- God afvanding medfører at flere frø skyller af belægningen, og at fugerne er forholdsvis tørre.
- Det ukrudt der kommer skal bekæmpes så ofte som muligt, så det ikke udvikler sig og spreder flere frø.



Figur 4.13. (1) Gamle fyldte fuger er meget modstandsdygtige overfor ukrudt, hvorimod ikke-fyldte fuger (2) giver gode vækstbetingelser for ukrudtet. (3) Endvidere er det vigtigt at lave en ordenlig kantafgrænsning, således at eksempelvis græssets rodnet ikke vokser ind i befæstelsen. Hovedproblemet her er dog ikke-fyldte fuger.

Fyldte fuger og jævnlig fejning mindsker ukrudtsvæksten

Ikke-fyldte fuger giver ukrudtsproblemer

Ældre helt fyldte fuger har stor resistens over for ukrudt. Den naturlige forsejling af fugerne giver en tæt og forholdsvis hård overflade i fugerne, hvilket gør det vanskeligt for ukrudtsfrø at spire. Er fugerne ikke helt fyldte samles ukrudtsfrø i fugerne og kan spire i fred mellem stenene. Dertil kommer, at det endvidere er svært at bekæmpe det ukrudt der kommer med såvel brænding og børster, fordi det er godt beskyttet i fugen. Det er derfor meget vigtigt at sørge for, at fugerne til stadighed er fyldte med et egnet fugemateriale.

## 4.4.2 Bekæmpelse af ukrudt

Der findes grundlæggende flere forskellige metoder til ukrudtsbekæmpelse. Disse kan deles op kontakt- og ikke-kontaktmetoder:

Kontaktmetoder:

- Børstning
- Spuling
- Manuel bekæmpelse
- Sandblæsning.

Ikke-kontakt metoder:

- Sprøjtning
- Brænding
- Dampning
- Frysning
- Infrarød stråling.

Tidligere blev ukrudt normalt bekæmpet med en plantegift, men på grund af miljøproblemer med sprøjtegifte er kommuner, stat og private delvis gået over til at benytte alternativer til plantegiften, hovedsaglig termisk ukrudtsbekæmpelse (brænding) og børstning med stålbørster monteret på traktor.

Princippet i den termiske ukrudtsbekæmpelse er at en gasflamme, infrarød stråling eller damp bringer ukrudtsplantens temperatur op til ca. kogepunktet. Herved sprænges cellestrukturen sprænges, og plantaroden, som forsøger at forsyne planten med vand, tørrer ud og dør på grund af den kraftige fordampning, der sker fra den ødelagte cellevæg.

Kontaktmetoder

Ikke-kontakt metoder

Termisk ukrudtsbekæmpelse

Børstning med stålbørste



Figur 4.14. Øverst ses to udgaver af ukrudtsbrænderen, og nederst en stålbørste. Overdreven brug af stålbørsten frarådes, da den slider meget på belægningen.



Brug af stålbørster monteret på en traktor bør benyttes med forsigtighed, da de slider belægningen og derfor ændrer dens udseende. Det er vigtigt løbende at kontrollere stålbørstens effekt på belægningens overflade. For stort tryk på børsten foranlediger et unødigt stort slid på belægningen.

Flere udviklingsprojekter, som skal lette ukrudtsbekæmpelsen på arealer med betonsten og -fliser, er i gang.

Forsigtighed ved  
anvendelse af  
stålbørster



## 4.5 Vedligeholdelse af fuger og kanter

Intakte fuger og kantsikring er en forudsætning for en lang levetid af betonbelægninger. Dette stiller selvfølgelig krav til selve udførelsen, men det er også nødvendigt med en vis vedligeholdelse af fugerne og evt. reparation af kantsikringen, hvis den beskadiges.

### 4.5.1 Vedligeholdelse af fuger

Det er vigtigt, at fugerne altid er helt fyldte med velgraderet fugegrus, jf. afsnit "3.4.4.3 Fuger". På pladser, hvor der ved rengøringen anvendes feje-/sugemaskiner, skal det kontrolleres, at maskinen ikke suger fuge-materialet op. Specielt i det første år bør der køres med begrænset sug og tryk på børsterne. Det skal jævnligt kontrolleres, at fugematerialet ikke fjernes. Derefter er fugerne som regel rimeligt forsejlet og kan klare et større sug fra feje-/sugemaskinerne.

Mangler der fugegrus efterfyldes straks med korrekt fugemateriale.



Figur 4.15. Belægninger efterfyldes med nyt fugegrus, straks der mangler noget. Det kan typisk være nødvendigt om foråret.

### 4.5.2 Vedligeholdelse af kanter

Hvis køretøjer kommer tæt på kanten af en belægningsoverflade, der ikke er sikret tilstrækkeligt med kantsten, beton eller andet, kan trafiklasten forårsage, at stenene skrider. Det ser ikke pænt ud, og befæstelsens bæreevne falder betydeligt. Den manglende bæreevne kan forårsage, at der fremkommer sætninger. Det er derfor vigtigt at retablere kanten hurtigt efter en skade og eventuelt forstærke denne.

Foregår afvandingen af en vej eller plads udover kanten af belægningen, er det vigtigt at sørge for, at rabatten ikke "vokser" over belægningen. Sand, grus og ukrudt medfører at rabatten bliver højere, hvorved afstrømningen fra belægningen hindres.

Efterfyldning

Manglende bæreevne kan forårsage sætninger



## 4.6 Reparationer og retablering

Opgravninger i arealer med betonsten eller -fliser kan retableres uden synlige ar og senere sætninger, hvis arbejdet udføres korrekt og omhyggeligt. Det forudsætter dog, at belægningen er lagt med korrekte fugebredder. Er fugerne for smalle, er det næsten umuligt at få stenene på plads igen.

Ved retablering af en betonstens- eller flisebelægning efter f.eks. en ledningsfornyelse, skal der ydes speciel opmærksomhed på:

- At belægningen får samme udseende som før opgravningen
- At risikoen for fremtidige sætninger/lunker er begrænset så meget som mulig.



Figur 4.16. I denne belægning har der været gravet op for at reparere telekabler.

### 4.6.1 Opgravning i belægningen

For at få hul på belægningen er det oftest nemmest at slå en sten i stykker, hvorefter de resterende kan tages op (specialværktøj findes dog til optagning af sten). Det skal undgås at beskadige de øvrige sten ved optagningen.



Figur 4.17. Der findes forskelligt specialværktøj til betonstensarbejde, bl.a. til optagning af sten.

Retablering uden ar

Ved udgravning noteres lagens aktuelle tykkelser

Opgravede materialer bør genbruges

Nylagte sten bør have en overhøjde på 3-5 mm

Stenene skal være rene, for at de kan lægges med samme fugebredde som oprindeligt. Rengøring med børste eller vand er derfor normalt nødvendigt.

Ved udgravningen noteres de aktuelle tykkelser af afretningslag, bærelag og eventuel bundsikring. De forskellige materialer lægges hver for sig ved udgravningen. Materialer skal beskyttes mod regn og frost.

Undgå underminerende udskridninger i udgravningens sider. Hvis der uheldigvis sker en udskridning, er det vigtigt at tage stenene op i et passende stort område, således at bærelaget kan retableres i hele den skadede zone. Der bør altid, før retableringen, optages et vist antal sten rundt om udgravningen, så der er sikkerhed for, at der ikke er en svag zone omkring det retablerede område.

## 4.6.2 Retablering af befæstelsen

Den bedst mulige retablering opnås, hvis de opgravede materialer kan indbygges til deres oprindelige placering og tæthed. Opgravede materialer bør altid genbruges, hvis det er muligt. Derved opnås, at udgravningen efter en retablering har de samme funktionsegenskaber som den eksisterende jord og befæstelse med hensyn til bæreevne, deformationsegenskaber, drænevne og frostfarlighed (jf. DS 475, Norm for etablering af ledningsanlæg i jord).

For at genbrug kan praktiseres, skal den opgravede jord være tilstrækkelig komprimerbar. Nedenstående er opremsat de vigtigste punkter for at opnå en vellykket retablering.

- **Korrekt komprimering er vigtig**

Lagene komprimeres omhyggeligt og til den komprimeringsgrad, der er beskrevet. Som tommelfingerregel kan det nævnes, at hvis den opgravede jord er indbygget på ny er der opnået en tilstrækkelig komprimering.

Ved komprimeringen er det vigtigt, at materialerne har en passende fugtighed. Vandtilsætning vil i de tørre perioder være nødvendigt.

- **Stenene skal vendes med samme opside som før**

For at undgå farveforskelle i den retablerede belægning vendes stenene med samme opside som før. Der er normalt stor forskel i farve og overfladeruheden på stenens opside og underside.

- **Stenene skal ligge med en passende overhøjde**

Afretningslaget skal ligge lidt højere end bunden af de omkringliggende betonsten, ca. 15-25 mm.

Ved den efterfølgende komprimering af betonstenene, vil stenene blive vibreret næsten ned i niveau med de omkringliggende sten.

Ved komprimeringen presses der lidt grus fra afretningslaget op mellem fugerne på de nylagte sten. I praksis opnås de bedste resultater, hvis de nylagte sten ligger 3-5 mm højere end de tilstødende sten. De 3-5 mm skal kompensere for de små sætninger, der fremover vil opstå i belægningen på trods af omhyggelig vibrering af bærelag og sten.

- **Omhyggelig fugefyldning og vibrering**

Korrekt fugegrus fejes ned i fugerne af flere omgange. Fugegruset kan alternativt vandes forsigtigt ned i fugerne.

Stenene vibreres på plads. Det er ofte nødvendigt at efterfylde fugerne med fugegrus efter vibreringen.

- **Punktreparationer**

Hvis det af en eller anden grund bliver nødvendigt at udskifte enkelte betonsten i en ældre belægning, er det en god idé at tage de nødvendige sten fra et ikke så iøjnefaldende område og udlægge dem til erstatning for de optagne. De nye sten lægges på det sekundære område. Denne fremgangsmåde anbefales for at bevare et uændret udseende af belægningen. Er dette ikke muligt, kan de nye sten evt. "vaskes" med en blanding af vand og smuds (evt. snavs fra en tagrende).

### 4.6.3 Lunker og sporkøring

Større lunker og sporkøring kan med tiden blandt andet opstå af følgende årsager:

- Betonbelægningen sætter sig på grund af et for svagt bærelag
- Betonbelægningen udsættes for større belastninger end forudsat
- Trærødder løfter belægningen op
- Islinser løfter belægningen på grund af frostfarlig underbund
- Nedsivende vand på grund af dårlige fuger.

Større lunker og sporkøring er uønskede, idet det ændrer på overfladens planhed og udseende og giver generende vandsamlinger efter regnvej og isglatte områder om vinteren.

Udviklingen af lunker og sporkøring vil typisk accelerere, når først der står vand i dem. Det skyldes, at en del af dette vand vil sive ned gennem fugerne og svække afretningslaget og bærelaget, således at lunken/sporkøringen bliver større hvis belægningen belastes.

På belægninger med begrænset trafik vil der aflejres urenheder i lunkerne. Der vil desuden ofte dannes alger, svampe og mos.

Lunker og sporkøring udbedres ved at tage fliserne eller betonstenene op og justere på bærelag og/eller afretningslaget og eventuelt fjerne trærødder.



Figur 4.18. Ved brønddæksler og lignende opstår der ofte lunker på grund af for dårlig komprimering, eller manglende overhøjde ved lægningen. Oprettningen udføres dog let.

Lunker accelererer når først der står vand i dem

Oprettning af lunker





## 4.7 Vinter-vedligeholdelse

Saltning kan have en nedbrydende virkning på både beton og miljøet. Derfor bør snebelagte betonbelægninger som udgangspunkt fejes rene og gruses. Eventuel is kan fjernes ved saltning. Ved korrekt dosering af saltmængden vil selv saltning igennem mange vintre kun have ubetydelig indflydelse på levetiden af belægningen. Anvend altid natriumklorid (køkkensalt). Ved spredning af en saltopløsning/saltlage med egnet doseringsudstyr kan man komme ned på meget lave doseringsmængder af salt. Nye betonbelægninger bør ikke saltes inden de har opnået deres fulde hærdealder.

Minimering af saltforbruget kræver indsigt i de forskellige spredningsmetoder. Nedenfor er nogle af de forskellige saltspredere vist.



Figur 4.19. Salt kan principielt spredes på tre måder, som tørt salt, fugtet salt eller som saltopløsning. Øverst til højre ses en mindre valespredere til tørt salt, øverst til venstre en kombispreader der kan sprede både fugtet salt og en saltopløsning og nederst en traditionel tallerkenspredere til både tørt og fugtet salt.

Valesprederen benyttes ofte på stier og fortove og dermed på betonbelægninger. Valesprederen har imidlertid den ulempe, at saltet ofte ligger i små klatter, der er længe om at blive fordelt på belægningen.

Private husstande og mindre firmaer, som selv spredde salt, kan begrænse forbruget ved at anvende en væskeopløsning (1 del salt til 4 dele vand) og f.eks. en havesprøjte eller vandkande med spredébom. Anbefalet forbrug er 5 gram tørstof pr. m<sup>2</sup> (svarende til 2-2,5 l pr. 100 m<sup>2</sup>) ved præventiv saltning og 2-3 gange mere når der ligger is og sne. Det er en meget mindre mængde, end når man spredde håndfulde af salt ud på belægningen.

Minimering af saltforbruget

Saltspredere

Saltning på små arealer

--	--

# Ordforklaringer

Indenfor betonbelægninger, og vejbygning i det hele taget, er der en del fagudtryk. Denne liste er ment som en hjælp, hvis man støder på ukendte ord, men giver ikke nødvendigvis den fulde forklaring til alle ord.

## Afretningslag

Umiddelbart under betonsten og -fliser udlægges der et afretningslag i ca. 30 mm tykkelse. Laget skal være så tyndt som muligt, da bæreevnen er begrænset. Laget består normalt af 0-8 mm grus.

## Asfaltbærelag

Asfaltbærelag er et bærelag af sten og grus med bitumen som bindemiddel. Benyttes det under betonsten anvendes normalt grusasfaltbeton (GAB I).

## Befæstelse

Befæstelse er de lag der lægges oven på underbunden for at gøre den bæredygtig. Befæstelsen består normalt af bundsikringslag, bærelag, afretningslag og betonstenslag.

## Bitumen

Bitumen er bindemidlet i asfalt. Det laves i forskellige hårdheder, som angives ved en nåls penetration i materialet ved en given påvirkning.

## Bundsikringslag

Bundsikringslaget er det nederste lag i befæstelsen, og har til formål at modvirke frostskeer og reducere trafikens påvirkning på underbunden.

## Bundne materialer

Sten og grusmaterialer kan bindes sammen med et bindemiddel, normalt bitumen eller cement, og derved forøge materialets bæreevne.

## Bærelag

Bærelaget er laget under afretningslaget. Bærelagets primære funktion er at bære trafikken, dvs. fordele belastningerne ud på et større areal, så bundsikring og underbund ikke overbelastes.

## Cementbundet grus

Cementbundet grus er stabilt grus blandet med cement. Cementen binder gruset sammen, og giver derved materialet en større stivhed/bæreevne. Benyttes som bærelag.

## Cementklinker

Ved cementfremstilling opvarmes råmaterialerne (hovedsagelig sand og kridt) i lange roterovne, hvorved der fremkommer portlandklinker eller cementklinker, der i størrelse og form minder om letklinker som f.eks. Leca-nødder.

## E-værdi (E-modul)

E-værdien er et mål for et materiales stivhed. Jo større E-værdi jo stivere er materialet, og i vejbygning betyder det større bæreevne. Angives normalt som megapascal (MPa).

### **Flyveaske**

Flyveasken er et puzzolan, dvs. det reagerer med calciumhydroxid, og danner et bindemiddel. Flyveaske tilsættes til cement og beton. Calciumhydroxid fraspaltes ved cementens reaktion med vand. Flyveaske er et restprodukt fra kulfyrede kraft-/varmeværker.

### **Friktionskoefficient**

Friktionskoefficienten angiver forholdet mellem en lodret last og den maksimale vandrette last. Er friktionskoefficienten f.eks. 0,4 mellem et dæk og en belægning, kan der opstå en friktionskraft på 40 % af den lodrette last på hjulet.

### **Fugeknaster**

De fleste betonsten og -fliser er støbt med ca. 1,5 mm høje fugeknaster. Fugeknasterne blev oprindeligt udviklet så det var muligt at maskinlægge sten.

### **Heavy vehicle simulator (HVS)**

En heavy vehicle simulator benyttes til at lave accelererede test på belægningsmateriale. Midt i køretøjet er der monteret et hjul, der kører frem og tilbage. Hjulet belastes, og der kan således hurtigt simuleres mange lastbiler sammenlignet med den tid det ville tage hvis den almindelige trafik skulle benyttes. Endvidere kan test foregå af sides, hvor måling af sporkøring med videre ikke generer trafikken.

### **Isotopmetoden**

Kontrollen af komprimeringen foretages for det meste ved at undersøge komprimeringsgraden, dvs. det udlagte materiales tørhedsgrad målt i forhold til den tørhedsgrad, der kan opnås ved et standardiseret forsøg (eks. standard proctor). Tørhedsgraden i bærelag med videre fastlægges for det meste ved hjælp af isotopmetoden. Ved isotopmetoden fastlægges det udlagte materiales våddensitet samt vandindhold. Herefter udregnes tørhedsgraden. Denne densitet sammenlignes med den tørhedsgrad, der opnås i laboratoriet ved en standardiseret komprimering af det samme materiale.

### **Kapillaritet**

Kapillaritet er et udtryk for et materiales hårrørvirkning, dvs. evne til at suge væske op. Finkornede materialer har høj kapillaritet men lav permeabilitet (gennemtrængelighed).

### **Knasfuge**

Hvis betonsten og -fliser stødes helt sammen, når de lægges, kaldes den fuge der opstår for knasfuge. Betonsten og -fliser må ikke lægges med knasfuge.

### **Lysrefleksion**

Lysrefleksionen angiver en belægnings evne til at kaste lys tilbage, og dermed hvor meget lys der skal til for at lyse arealet op til et givet niveau. Jo højere en belægnings lysrefleksion er jo færre/mindre lyskilder kræves der.

### **Luminansfaktor**

Lysrefleksionen angives ved luminansfaktoren, der er forholdet mellem det reflekterede lys fra hhv. det undersøgte materiale og fra en perfekt diffuserende reflektor belyst og observeret under de samme forhold.

## Modulmål

Skære- og tilpasningsarbejdet kan minimeres, hvis hoveddimensionerne for et byggeri og tilhørende færdselsarealer projekteres på modulmål. Modulsystemet giver mulighed for at standardisere byggemål. For vandrette mål anvendes et planlægningsmodul på  $3M = 300 \text{ mm}$ . Det tilstræbes, at enkelte bygningsdele strækker sig over et helt antal planlægningsmoduler. Ved at vælge betonsten eller -fliser, der er tilpasset dette planlægningsmodul, reduceres tilpasningsarbejdet.

## Permeabilitet

Et materiales permeabilitet angiver dets gennemtrængelighed. Et groft enskornet materiale har stor permeabilitet og lav kapillaritet (hårrørs-virkning).

## Standard proctor

Standard proctor er en referenceværdi der benyttes ved komprimeringskontrol. I marken måles det aktuelle materiales vådrumvægt og vandindhold med isotopmetoden. Her ud fra beregnes tørrumvægt som sammenlignes med den tørrumvægt, der opnås ved en standardiseret komprimering af materialet i laboratoriet. 98 %-standard proctor betyder således, at rumvægten i marken er 98 % af den rumvægt der opnås i laboratoriet.

## Stenmel

Stenmel er et knust stenmateriale i sorteringer på op til 4 mm.

## Ubundne materialer

Ubundne materialer er sten- og grusmaterialer der ikke er bundet sammen af bindemiddel f.eks. stabilt grus.

## Vibrationsindstampning

Vibrationsindstampning er en referenceværdi, der benyttes ved komprimeringskontrol. I marken måles det aktuelle materiales vådrumvægt og vandindhold med isotopmetoden. Her ud fra beregnes tørrumvægt som sammenlignes med den tørrumvægt der opnås ved en standardiseret komprimering (vibrationsindstampning) af materialet i laboratoriet. 98 %-vibration betyder således, at rumvægten i marken er 98 % af den rumvægt der opnås i laboratoriet. Metoden benyttes bl.a. ved grove materialer, hvor proctorforsøget giver upålidelige resultater.

## Æ10-belastning

Æ10 er en forkortelse for ækvivalent 10 ton akseltryk. Betegnelsen benyttes i forbindelse med trafiktællinger og dimensionering. Belastningen på en vej vil være en blanding af personbiler, varebiler, lastbiler, busser med videre. Belastningen fra disse køretøjer kan omregnes til et vist antal 10 ton aksler. Eksempelvis svarer påvirkningen fra ca. 16 stk. 5 ton aksler til én 10 ton aksel. På denne måde kan den samlede trafikbelastning omregnes til et vist antal 10 ton aksler, som vejen dimensioneres til at kunne bære.

--	--

# Litteraturliste

## **Afløbskomponenter af PVC, HDPE, PP og beton**

Miljømæssig screening. Arbejdsrapport nr. 3. 1998.  
Kan kun ses på [www.mst.dk](http://www.mst.dk).

## **Befæstelser i anlægsgartneriet**

Søren Holgersen & Torben Dam. 2. udgave. 2002

## **Byernes trafikarealer**

Hæfte 0-10. Vejdirektoratet - Vejreglerådet. 2000.

## **Design and construction of interlocking concrete block pavement**

Brian Shackel. 1990.

## **DS 401**

Dansk Ingeniørforenings norm for sand, grus og stenmaterialer. 1992.  
Udgået og erstattet af en række CEN standarder, bl.a. DS/EN 13242.

## **DS 475**

Norm for etablering af ledningsanlæg i jord". 1994.

## **DS 1136**

Brolægning og belægningsarbejder. 2013.

## **DS/EN 1338**

Belægningssten af beton - Krav og prøvningsmetoder. Høringsudgave. 2012.

## **DS/EN 1339**

Betonfliser - Krav og prøvningsmetoder. Høringsudgave. 2012.

## **DS/EN 1340**

Kantsten af beton - Krav og prøvningsmetoder. Høringsudgave. 2012.

## **DS/EN 13242 + A1**

Tilslag til ubundne og hydraulisk bundne materialer til vejbygning og andre anlægsarbejder. 2003.

## **Gatan för människor**

Svensk Markbetong. 1998.

## **Gatan som livsrum - om mänsklig trafikmiljö i tätorter**

Anita Stenler. Særtryk af Cementa nr. 2-1995.

## **Håndbog i miljørigtig projektering**

Bind 2, Miljødata, publikation 121, BPS- centeret, DTI-byggeri. 1999.

## **Kvalitetsplan for brolægnings- og belægningsarbejde**

Brolæggerlauget.

## **Livscykelanalyse av marksten**

Chalmers Industriteknik. 1998.

## **Normer og vejledning for Anlægsgartnerarbejde**

Danske Anlægsgartnere. 2010.

## **Permeable pavements**

Interpave. 2010.

**The design, construction and evaluation of permeable pavements in Australia**

Dr. Brian Shackel, University of New South Wales. 2010.

**Udbudsforskrift for brolægning**

Vejdirektoratet. 2007.

**Udbudsforskrifter for jordarbejder**

Vejdirektoratet. 2006.

**Udbuds- og anlægfsforskrifter. Bundsikringslag af sand og grus**

Vejdirektoratet. 2003.

**Udbuds- og anlægfsforskrifter. Stabilt grus**

Vejdirektoratet. 2003.

**Udbudsforskrifter for Varmblandet asfalt**

Vejdirektoratet. 2012.

**Understanding permeable paving**

Interpave. 2012.

**Vejbygning - materialer, befæstelser, belægninger**

A/S Phønix Contractors. 1995.

**Veje til mindre støj**

Rapport nr. 80. Christian Sauer m.fl. Vejdirektoratet. 1999.

**Vejregel for dimensionering af befæstelser og**

**forstærkningsbelægninger.** Anlæg og planlægning. Vejdirektoratet. 2013.

**Vejregel for vedligehold af færdselsarealet**

Konstruktion og vedligehold af veje og stier. Hæfte 4. Vedligehold af færdselsarealet. Vejdirektoratet. 2009.

**Vejregel for afvandingskonstruktioner**

Konstruktion og vedligehold af veje og stier. Hæfte 2. Afvandingskonstruktioner. Vejregelforslag. Vejdirektoratet. 2009.

**Udbudsforskrift for ubundne bærelag af knust beton og tegl**

Vejledning, leveringsbetingelse, almindelig arbejdsbeskrivelse. Vejteknisk Institut. Rapport 130. 2011.

**Udbudsforskrift for ubundne bærelag med knust asfalt**

Vejledning, leveringsbetingelse, almindelig arbejdsbeskrivelse. Vejteknisk Institut. Rapport 132. 2011.

**Udbudsforskrifter for hydraulisk bundne bærelag**

Vejdirektoratet. 2009.



# Stikordsregister

## A

Affasning 31  
Afretning 107  
Afretningsgrus 88  
Afretningslag 79, 87, 88  
Afslutningssten 21  
Afvanding 67  
Afvigelser i planhed 58, 59, 60  
Afvigelser mellem to diagonal mål 58, 59  
Akseltryk 64, 73  
Alger 122  
Aquaplaning 67  
Asfaltbærelag 84

## B

Bagstøbning 101  
Befæstelser uden trafikbelastning 69  
Befæstelsestykkelse 74  
Belysning 27  
Belægningsgruppen 9, 57  
Betonsten 9  
Betonstenslag 86  
Belægningssystemer 21  
Betonoverflade 19, 43, 45  
Betonvareproduktion 37  
Bitumen 84  
Blokforbandt 20, 76  
Bolligveje 13  
Brudlast 60  
Buede tværprofiler 100  
Bundne bærelag 83  
Bundne fugematerialer 35  
Bundsikringsdræn 67  
Bundsikringslag 69, 74, 81  
Byggemål 61  
Bæreevne 82  
Bøjningstrækstyrke 59

## C

Cement 41  
Cementbundet grus 83  
Cementbundet sand 35  
Cementbundne lag 83  
Centrifugalkraft 94

## D

Dimensionering 52, 69

## E

E-modul 72  
E-værdier 72, 75, 80  
Emissioner 53  
Energiforbrug 54

## F

Fabrikker 9, 39, 61  
Fald 67  
Fartdæmpning 14  
Farvenuancer 48  
Farver 19, 48  
Feje-/sugemaskiner 133  
Fiberdug 94  
Fliser 98  
Formvariationer 36  
Fremstilling 37, 41, 42  
Friktion 29  
Friktionskoefficient 29  
Frilagte sten 19  
Frost/tø bestandighed 57  
Fugebredde 31, 90, 98  
Fugefyldning 93  
Fugeknaster 31  
Fugemateriale 92  
Fugens tæthed 34  
Fuger 92  
Fugeretning 29

## G

Genbrugsmaterialer 84  
Geotekstiler 95  
Grundvandsdræn 67  
Grusasfaltbeton 84  
Græsarmeringssten 22

## H

Haveflise 43  
Horisontale forskydninger 35  
Hærdealder 84  
Højtryksrensning 133  
Håndnedlægning 89

## I

Ikke-låsende sten 70  
Indkørsler 17  
Industriarealer 17

## J

Jernoxider 48  
Jævnhed 81  
Jævnhed og profil 81

## K

Kalkudfældninger 137  
Kantafskalning 32  
Kantsikring 99, 105  
Kantsten med hvid overflade 24  
Kantstenstyper 24  
Karbonatiseringen 34  
Knasfuge 32  
Knust asfalt 84  
Knust beton 84

Knust tegl 84  
Komprimeringskrav til underbunden 79  
Komprimeringskrav til bundsikringslaget 82  
Komprimeringskrav til stabilt grus 82  
Koncentrerede laster 16, 17  
Kontrol 9  
Kontrol af fugebredde 97  
Kontrolplan 96  
Kraftoverførsel 34  
Krav til betonsten 58  
Krav til betonfliser 59  
Krav til betonkantsten 60  
Krav til styrke 58  
Kugleblæst overflade 19  
Kurver 92  
Kvalitet 9, 51, 57  
Kvalitetssikring 57, 61, 95

## L

Lastoverføring 31  
Lav 123  
Lerholdig fugegrus 34  
Levetid 51  
Linieafvanding 67  
Livscyklusanalyser 52  
Lock-up 72  
Lydegenskaber 28  
Lydniveauet 28, 29  
Lysegenskaber 27  
Lysrefleksion 27, 55  
Lysstyrke 27  
Læggemønster 21, 41, 75, 76  
Lægning 36, 89, 98  
Løberforbandt 20, 21, 71, 75, 76  
Låsende sten 70  
Låsevirkning 19, 75, 93

## M

Maskinnedlægning 90  
Miljøbelastning 53  
Miljødata 53  
Miljøprojekter 55  
Miljøpåvirkninger 53  
Miljøskadelige stoffer 24  
Målafvigelser 58, 59, 60

## N

Normer 65, 66, 132

## O

Opblødning 33, 52  
Opbygning af befæstelser 69, 76, 78  
Overbygningstykkelse 74  
Overfladebehandling 19, 27  
Overfladestruktur 19

## P

Parkanlæg 17  
Parkeringsarealer 22  
Parkeringspladser 16, 24  
Passten 92  
Patinering 43  
Penetrationsdybde 84  
Permeable belægninger, 119  
Pladevibrator 95, 99  
Pladser 15  
Produktmærkning 61  
Produktstandarder 57  
Projektering 65, 79, 102, 109  
Punktafvanding 69

## R

Radiuskantsten 24  
Randsten 21  
Regnvand 23, 33  
Rektangulære 20  
Rengøringsmetoder 133  
Renholdelse 133  
Rumbling 19

## S

Sand 35, 41  
Sildebensmønster 20, 71, 76  
Slebet overflade 19  
Slidpåvirkning 37, 43  
Spaltetrækstyrke 58, 61  
Specialelementer 21  
Specialkantsten 24  
Sporkøring 21, 31, 52  
Standardbefæstelser 69, 74, 78  
Standarder 57, 65  
Stenform 19  
Stenmateriale 27  
Stenmel 34  
Stentykkelse 70  
Stentype 19, 76  
Støbeform 38  
Støbeplade 37  
Støbning 9, 37  
Støttemure 25, 109  
Støttemursblok 25  
Sætning af kantsten 100  
Sætninger 31, 52

## T

Temperaturudvidelser 100  
Terrasse 17  
Terrænhøjde 25  
Tilpasning 91  
Torve 15  
Trafikbelastede arealer 21, 74  
Trafikklasse 74  
Trafikregulering 14

Trafiksikkerhed 27, 29  
Trapper 25, 103  
Trasskalkmørtel 35  
Tværfald 67  
Tykkelse 74, 87

## U

Ubundne lag 82  
Underbunden 79  
Understøbning 101  
Urenheder 121

## V

Vandabsorption 58  
Vandindvindingszoner 24  
Veje 13  
Vejgrøfter 67  
Vejledninger 65  
Vejrbestandighed 58, 60  
Vejregler 65, 119  
Vinkelforbandt 20, 71, 75  
Voksholdig sand 35  
Vridende påvirkninger 16

## Æ

Æstetiske levetid 51

## Ø

Øko-sten 23, 119

--	--





Belægningsgruppen  
Dansk Beton  
Nørre Voldgade 106  
1358 København K  
[www.betonsten.dk](http://www.betonsten.dk)

Juni 2014