



# permeable dekker



VEILEDNING FOR UTFORMING,  
BYGGING OG VEDLIKEHOLD AV  
PERMEABLE DEKKER AV  
BETONGSTEIN



## Interpave

THE PRECAST CONCRETE PAVING  
AND KERB ASSOCIATION



[www.paving.org.uk](http://www.paving.org.uk)

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>FORORD</b>                                                 | <b>4</b>  |
| <b>1. INNLEDNING</b>                                          | <b>5</b>  |
| <b>BAKGRUNN: NORSKE FORHOLD</b>                               | <b>6</b>  |
| <b>2. LOVGIVNING OG VEILEDNING</b>                            | <b>9</b>  |
| <b>3. PERMEABLE DEKKERS FUNKSJON</b>                          | <b>11</b> |
| <b>3.1 KONSEPTET</b>                                          | <b>11</b> |
| <b>3.2 AVRENNING AV OVERFLATEVANN</b>                         | <b>12</b> |
| 3.2.1 VANNSTRØMNING                                           | 12        |
| 3.2.2 FORURENSNING                                            | 14        |
| 3.2.3 KLIMAENDRINGER                                          | 15        |
| <b>3.3 FORDELER</b>                                           | <b>15</b> |
| 3.3.1 VANNSTRØMNING                                           | 15        |
| 3.3.2 FORBEDRING AV VANNKVALITETEN                            | 17        |
| <b>4. EGENSKAPER</b>                                          | <b>19</b> |
| <b>4.1 ULIKE TYPER AV BETONGSTEIN</b>                         | <b>19</b> |
| <b>4.2 ULIKE TYPER AV PERMEABLE DEKKER</b>                    | <b>20</b> |
| 4.2.1 SYSTEM A –TOTAL INFILTRASJON                            | 20        |
| 4.2.2 SYSTEM B –DELVIS INFILTRASJON                           | 21        |
| 4.2.3 SYSTEM C –INGEN INFILTRASJON                            | 22        |
| <b>4.3 SYSTEMER SOM ERSTATTER PERMEABELT FORSTERKNINGSLAG</b> | <b>23</b> |
| <b>4.4 OPPSAMLING AV REGNVANN</b>                             | <b>23</b> |
| <b>4.5 OPPRUSTNING</b>                                        | <b>25</b> |
| <b>5. VALG AV DEKKESYSTEM</b>                                 | <b>26</b> |
| <b>5.1 UNDERGRUNNS-MATERIALETS PERMEABILITET</b>              | <b>26</b> |
| <b>5.2 ANLEGGETS SÆRTREKK</b>                                 | <b>27</b> |
| 5.2.1 GRUNNVANNSSPEILETS NIVÅ                                 | 27        |
| 5.2.2 FORURENSNINGSVERN                                       | 27        |
| 5.2.3 UTSLIPPSSAMTYKKER                                       | 28        |
| 5.2.4 NÆRHET TIL BYGNINGER                                    | 28        |
| <b>5.3 ANDRE KRITERIER</b>                                    | <b>29</b> |
| <b>5.4 KORRIDORERFOR INFRASTRUKTUR</b>                        | <b>30</b> |
| <b>6. STRUKTURELL OG HYDRAULISK DIMENSJONERING</b>            | <b>31</b> |
| <b>6.1 DIMENSJONERINGSKRITERIER</b>                           | <b>31</b> |
| <b>6.2 DIMENSJONERING AV FORDRØYNINGSBASSENGET</b>            | <b>32</b> |
| 6.2.1 KLIMAENDRING                                            | 33        |
| 6.2.2 ENHETER                                                 | 33        |
| 6.2.3 INFILTRASJONSDEKKER (SYSTEM A)                          | 34        |
| 6.2.4 KILDEKONTROLL                                           | 34        |
| 6.2.5 AVSKJÆRINGSLAGRING                                      | 34        |
| 6.2.6 FORDRØYNINGS-LAGRING                                    | 35        |
| 6.2.7 HELLENDE TERRENG REDUSERERLAGRINGSKAPASITETEN           | 39        |
| 6.2.8 DRENERING AV TETTE OMRÅDER INN I PERMEABLE OMRÅDER      | 40        |
| 6.2.9 LANGSIKTIG LAGRING                                      | 42        |
| 6.2.10 BRUK AV PROGRAMVARE FOR DRENERINGSANALYSE OG UTFORMING | 42        |
| 6.2.11 OVERFØRING AV VANN TIL AVLØP                           | 43        |
| 6.2.12 EKSEMPEL PÅ UTFORMING AV LAGRINGSMETODER               | 43        |

|                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6.3 STRUKTURELL DIMENSJONERING</b>                                                        | <b>44</b> |
| 6.3.1 DIMENSJONERINGS-PROSESSEN                                                              | 45        |
| 6.3.2 TRINN 1 – VALG AV BELASTNINGSKATEGORI                                                  | 45        |
| 6.3.3 TRINN 2 – VALG AV MATERIALER OG TYKKELSER FOR<br>DEKKETS FUNDAMENT                     | 47        |
| 6.3.4 TRINN 3 – JUSTERING AV KONSTRUKSJONER VED LAVE<br>CBR-VERDIER FOR MATERIALET I GRUNNEN | 50        |
| 6.3.5 TRINN 4 – BESKYTTELSE MOT ANLEGGSTRAFIKK                                               | 51        |
| 6.3.6 TETT ASFALT                                                                            | 51        |
| <b>7. SPESIFIKASJON OG MATERIALER</b>                                                        | <b>53</b> |
| 7.1 BELEGNINGSSTEIN                                                                          | 53        |
| 7.2 SETTELAG OG FUGEMATERIALE                                                                | 53        |
| 7.2.1 FUGE- OG HULROMS-MATERIALE                                                             | 54        |
| 7.3 BÆRELAGET                                                                                | 54        |
| 7.3.1 SETTELAGET OG FORSTERKNINGSLAGETS<br>KOMPRIMERBARHET OG KORNGRADERING                  | 55        |
| 7.4 SEMENTSTABILISERTE GROVE STEIN-<br>MATERIALER                                            | 57        |
| 7.5 ASFALTERT GRUS                                                                           | 57        |
| 7.6 NEDRE FORSTERKNINGSLAG                                                                   | 57        |
| 7.7 TETT MEMBRAN                                                                             | 58        |
| 7.8 GEOTEKSTILER                                                                             | 58        |
| 7.8.1 SÆRTREKK                                                                               | 59        |
| 7.8.2 KVALITET                                                                               | 59        |
| 7.8.3 UTLEGGING                                                                              | 59        |
| <b>8. DETALJER</b>                                                                           | <b>60</b> |
| 8.1 KANTSIKRING                                                                              | 60        |
| 8.2 UTLØP OG OVERFØRING                                                                      | 60        |
| 8.2.1 AVSTANDER MELLOM UTLØPSRØR                                                             | 61        |
| 8.3 INNØP FRA TAKDRENERING                                                                   | 63        |
| 8.4 ANLEGG MED HELNING                                                                       | 63        |
| 8.5 TERRENGTILPASNING                                                                        | 65        |
| 8.6 ATKOMSTKORRIDORER                                                                        | 65        |
| <b>9. BYGGING</b>                                                                            | <b>66</b> |
| 9.1 FORHOLDSREGLER PÅ ANLEGGET                                                               | 66        |
| 9.3 FUGEFORSEGLING                                                                           | 67        |
| 9.4 SETTELAG OG FYLLING AV FUGER                                                             | 67        |
| 9.5 BESKYTTELSE MOT ANLEGGSTRAFIKK                                                           | 67        |
| 9.6 GEOTEKSTIL                                                                               | 68        |
| 9.7 PERMEABELTFORSTERKNINGSLAG                                                               | 68        |
| 9.8 TETT MEMBRAN                                                                             | 69        |
| 9.9 KLARGJØRING AV PLANUM                                                                    | 69        |
| <b>10. FUNKSJON OG VEDLIKEHOLD</b>                                                           | <b>70</b> |
| 10.1 FUNKSJONSEGENSKAPER                                                                     | 70        |
| 10.1.1 OVERFLATEINFILTRASJONSMENGDER OG FORRETNING                                           | 70        |
| 10.1.2 FROST                                                                                 | 71        |
| 10.1.3 HELSE, SIKKERHET OG TILGJENGELIGHET                                                   | 72        |
| 10.2 VEDLIKEHOLD                                                                             | 72        |
| 10.3 GODKJENNING                                                                             | 73        |
| <b>11. REFERANSER OG ANDRE INFORMASJONSKILDER</b>                                            | <b>74</b> |
| 11.1 REFERANSER                                                                              | 74        |
| 11.2 ANDRE REFERANSER                                                                        | 77        |
| <b>VEDLEGG 1 EKSEMPLER PÅ UTFORMING</b>                                                      | <b>78</b> |
| <b>VEDLEGG 2 FORKORTELSER</b>                                                                | <b>87</b> |

## FORORD

En arbeidsgruppe har i 2010/ 2011 jobbet med å lage den første utgaven til en veileder for permeable dekker av belegningsstein i Norge. Arbeidsgruppa har bestått av:

Oddvar Lindholm, UMB  
Helge Mork, NTNU  
Øystein Myhre, Statens Vegvesen  
Kristin Berg, Statens Vegvesen  
Linmei Nie, Sintef  
Thore Aas, Moss kommune  
Gustav Amlie, Norcem  
Kjell Myhr, bransjeforumet Norsk Belegningsstein

Ragnar Evensen fra Vianova Plan og Trafikk har vært engasjert som fagsekretær for arbeidet med veilederen.

Denne veilederen har som hensikt å hente internasjonal kompetanse på permeabel belegning og gjøre denne tilgjengelig for det norske fagmiljøet. Videre er det gjort en jobb for å se hvordan permeable dekker kan benyttes i Norge.

### Denne veilederen består av følgende deler:

- A. Interpave:** Permeable Pavements, GUIDE TO THE DESIGN; CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF CONCRETE BLOCK PAVEMENTS - 6. utgave Interpave er produktorganisasjonen for British Precast Concrete Federation LTD. Norsk Belegningsstein har tillatelse å oversette denne veilederen til en norsk utgave. Dette er en ren oversettelse der lovverk, myndighetsreferanser og flere tekniske løsninger ikke vil være relevante for norske forhold.
- B. Anne Beldens:** Vanngjennomtrengelige dekker i Belgia. Fra Forskningsprosjekt til anvendelse. Et innlegg på den 9. internasjonale om dekker av belegningsstein i Boenos Aires i 2009.
- C. Notat:** Permeable dekker av belegningsstein. Dimensjonering for norske forhold. Beregningseksempel Ragnar Evensen, Vianova Plan og Trafikk AS

På alle kontinenter pågår det nå forskningsarbeider for å finne gode permeable dekker. SUDS - sustainable drainage systems, har vært et begrep i flere tiår i Storbritannia, og i Tyskland er det fram til i dag bygd permeable dekker på mer enn 20 000 000 m<sup>2</sup>. Mange andre land har nå også fått sine egne veiledere for permeable dekker tilpasset lokalt klima, geoteknikk, vegnormaler, standarder for avløpssystemer mm.

Hensikten med veilederen er å lage et første utkast til en veileder som oppsummerer internasjonalt arbeid innenfor temaet Permeable dekker av belegningsstein. Veilederen vil videre gi et beregningseksempel basert på norske forhold (nedbør, frost, grunnforhold, tilgjengelige masser mm).

Norske forhold er gunstige med tanke på bruk av permeable dekker:

- Gode knuste masser i vegoverbygningen gir stabilitet selv ved vannmetning.
- Sprengsteinsfyllinger med naturlig magasin for fordrøyning av overvann.

Dekkene er best egnet som fast dekke på parkeringsanlegg, torg og plasser for gangtrafikk. Permeabel belegning er mindre egnet på trafikkerte veier og områder utsatt for store laster og vridningskrefter.

Ved bruk av permeable dekker vil en kunne spare kostnader til overvannsanlegg, redusere flomtopper og redusere forurensning fra trafikkerte flater. I tillegg vil det være enklere å etablere arealer med lite fall uten risiko for at det oppstår vanddammer på dekket under regnvær.

## 1. INNLEDNING

Denne veiledningen er rettet mot planleggere, designere, ingeniører og beslutningstakere som et hjelpemiddel ved utforming, bygging og vedlikehold av permeable dekker av betongstein. Denne bærekraftige dreneringsteknologiens popularitet blir stadig mer utbredt i flere land. For eksempel er det i Irland lagt ca. 500.000 m<sup>2</sup> permeable dekker av betongstein ved utbygging av handlesentre i løpet av de siste årene. Veiledningen er basert på forskning utført ved Universitetet i Newcastle, informasjon fra Tyskland, hvor det legges i overkant av 20.000.000 m<sup>2</sup> permeable dekker hvert år samt publiserte data fra USA – hvor 'Interlocking Concrete Pavement Institute' har vært banebrytende innen utviklingen av retningslinjer for permeable dekker.

Veiledningen er i samsvar med anbefalingene i publikasjonene som er angitt i referansedelen bakerst i dette dokumentet, men spesielt av «The SUDS Manual» (CIRIA, 2007) som er den mest fylldige og oppdaterte veiledningen relatert til Sustainable Drainage Systems (SUDS) (Bærekraftige dreneringssystemer) på De britiske øyer. Leserne bør være oppmerksom på at ny erfaring fra en mer utstrakt bruk av permeable dekker har gjort deler av veiledningen i tidligere publikasjoner noe foreldet, og man bør være oppmerksom på dette. Veiledningen er tilpasset

europiske og britiske standarder og støtter bruk av lett tilgjengelige materialer til bygging av konstruksjoner. Videre tar veiledningen mål av seg til å støtte utviklingen av innovative produkter og materialer som bidrar til å oppnå målsetningen i SUDS og kravene fremsatt av EUs rammedirektiv for vann, og som også tar høyde for forventede, fremtidige endringer. Selv om denne veiledningen inneholder de siste anbefalinger for permeable dekker av betongstein, finnes det andre metoder som opp gjennom årene har vist seg å være vellykkede. Til sist er det **viktig å være oppmerksom på at medlemmer av Interpave fremstiller spesifikke systemer som kan omfatte alternative tilnærmingmåter eller spesifikasjoner til dem som er angitt i denne veiledningen.**

Selv om teknologien vedrørende permeable dekker av betongstein blir stadig mer populær og nå er veletablert på lik linje med andre SUDS-teknologier, fortsetter brukernes erfaringer fra reelle prosjekter å øke tilfanget av informasjon og å påvirke fremtidig utvikling. Ved hjelp av regelmessige revisjoner, akter denne veiledningen å tilby den mest oppdaterte veiledning for permeable dekker. I tillegg har Interpave utgitt 'Understanding Permeable Paving – guidance for designers, developers, planners and local authorities', («Forståelse av permeable dekker, veiledning for planleggere, utbyggere, og lokale myndigheter») som dekker bakgrunnsinformasjon, juridisk rammeverk, godkjenning og studier av enkelttilfeller, som finnes på **[www.interpave.org.uk](http://www.interpave.org.uk)**. Ytterligere veiledning om andre sider ved planlegging og utførelse av dekker med belegningsstein – som også er relevant for permeable dekker av betongstein – slik som maskinell installasjon, kapping og rehabilitering finnes også på Interpaves nettsted.

**De viktigste endringene i denne utgaven i forhold til 5. utgave gjelder ny lovgivning (lovgivning i Storbritannia), og ikke veiledning for utforming og bygging.**

## BAKGRUNN: NORSKE FORHOLD

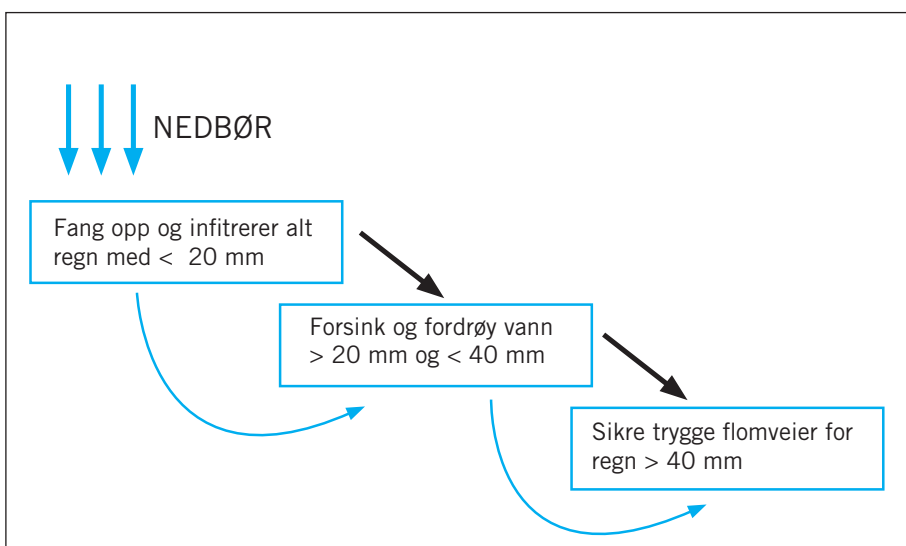
(De følgende avsnittene er ikke en del av det originale dokumentet fra Interpave)

Det har vært en betydelig økning i forsikringsselskaperes utbetalinger for flomskader på bygninger og anlegg de siste årene. En viktig årsak til dette er at avløpssystemet ikke har hatt kapasitet til å håndtere den økende overvannsmengden som følge av fortetting i eksisterende byområder samt endringer i klimaet. Klimaendringen har de fleste steder i landet vårt betydd mer nedbør med større intensitet.

For at overvannet skal bli en ressurs i urbane områder kreves det en sterk kobling mellom overvannshåndtering, byarkitektur og areal- og landskapsplanlegging. Den vanligste og tradisjonelle måten er å føre overvannet ned i sluk og bort i rør. Å behandle overvannet lokalt innebærer å la vannet finne naturlige veier via infiltrasjon til grunnen og/eller la det renne bort via åpne vannveier og dammer. I mange år har overvann utelukkende vært sett på som et problem, mens vannet heller bør oppfattes som en ressurs for rekreasjon og som et positivt element i nærmiljøet.

### Lokale overvannsløsninger

De rimeligste og enkleste løsningene for overvann er som regel å få til lokal infiltrasjon. Å behandle overvannet lokalt innebærer å la vannet finne naturlige veier via infiltrasjon til grunnen og/eller la det renne bort via åpne vannveier og dammer. Dette beskrives



Skissen viser en treleddsstrategi for håndtering av nedbør. Tallene er eksempler og må tilpasses lokalt. (Norsk VANN Veiledning i overvannshåndtering 2008)

Første ledd er å håndtere nedbøren lokalt i åpne anlegg nær kilden som for eksempel boliger, parkeringsplasser, torg og lokale veier. Målet er da å etablere systemer som medvirker til at overflatevannet infiltreres i grunnen. Belegningsstein med permeable fuger vil være et godt eksempel på et slikt LOD-anlegg. Det som ikke kan infiltreres i første ledd ledes videre i åpne renner eller vannføringer til dammer eller større sentrale anlegg. Ved svært kraftig regn vil ikke LOD-anleggene kunne håndtere de ekstreme vannmengdene som oppstår, og det må planlegges åpne trygge flomveier gjennom de urbane områdene for å ta hånd om overskuddsvannet.

### **Forurensninger**

Det har vist seg at det overvannet som kommer fra sterkt trafikkerte områder og belastede sentrale bystrøk, kan inneholde miljøgifter og andre forurensninger man ikke ønsker å sende direkte ut i følsomme vannforekomster. Problemer med forurensninger fra overløpsutslipp, økte flomskader og forurensninger fra overvannet kan bringes under bedre kontroll uten å investere store summer i kostbare ledningsnett ved å optimalisere bruken av lokale og åpne overvannsløsninger (LOD-anlegg).

Forurensning på arealer med lett trafikk vil normalt være begrenset til drypp av drivstoff og olje, dekkslitasje, og støv fra omgivelser og atmosfæren.

Lokal infiltrasjon vil dempe sjokkeffektene av de første avrenningene (first flush) med de mest forurensede materialene fra overflaten. Partikulært materiale vil filtreres ut i fugene og en kan forvente nedbrytning av de letteste organiske materialene.

For å opprettholde permeabiliteten i dekket vil det være naturlig å skifte fugemateriale hvert 5. til hvert 10. år. Forurensningsmyndighetene må avgjøre endelig disponering og eventuelt behandling av disse massene.

## 2. LOVGIVNING OG VEILEDNING

I Norge vil bl.a. bestemmelsene i «Lov om vassdrag og grunnvann» (vannressursloven) være et viktig fundament for planleggingen. Tiltakene skal planlegges og gjennomføres slik at de er til minst mulig skade eller ulempe i vassdraget for private eller allmenne interesser. Tiltakene skal fylle alle rimelige krav til sikkerhet for mennesker, miljø eller eiendom.

Planning Policy Statement PPS 25 (Uttalelse om reguleringspolitikk) (Department for Communities and Local Government, 2006) fastsetter regjeringens politikk i England vedrørende utbygging og risiko for oversvømmelser. I Skottland gir Planning policy *SPP7* (Reguleringspolitikk) (Scottish Executive 2004) liknende veiledning, og det samme gjør *TAN15* i Wales (Welsh Assembly Government 2004). Hovedformålet er å sikre at risiko for oversvømmelser tas i betraktning i alle ledd av planleggingsprosessen for å unngå at det bygges ut i flomutsatte områder eller at utsattheten for oversvømmelser økes andre steder som følge av utbyggingen. PPS 25 fastslår at SUDS er i stand til å gi en bedre håndtering av overflatevannet og foreslår at reguleringsmyndighetene fremmer SUDS (Sustainable Drainage Systems) på alle nivåer for å fordrøye overflateavrenning, forbedre vannkvalitet og nærmiljøforholdene. Den fastsetter at både **vannføring og de totale mengder** av overflateavrenning fra de nye utbyggingsarbeidene *«Ikke skal være større enn det som var tilfelle før den planlagte utbyggingen, med mindre det iverksettes konkrete tiltak utenfor anlegget som medfører samme nettoeffekt»*. Den krever at lokale myndigheter reduserer flomrisikoen via reguleringsprosessen på en måte som tar høyde for klimaendringer i tillegg til å bedre miljøet. Den anerkjenner at SUDS kan brukes på alle byggeplasser.

Scotland Planning Advice Note PAN 61 (Scottish Executive, 2001) inneholder nyttig veiledning for planleggere og utbyggere om hvordan man bruker SUDS i utbyggingsprosjekter.

«*SUDS-manualen*» (CIRIA, 2007) inneholder veiledning om beste praksis for alle aspekter av utforming, bygging, drift og vedlikehold av SUDS. Den vektlegger spesielt bruk av kildekontrollteknikker og krever at SUDS-designere tar i betraktning fjerning av forurensning og nærmiljøforholdene ellers, så vel som en mer omfattende evaluering av fordrøyning enn det som før har vært nødvendig (for å oppfylle de samme kravene som angitt i PPS 25). Permeable dekker av betongstein er ideelle til å oppfylle disse nye designkriteriene.

Spesielt viktig er *Flood and Water Management Act 2010*, som er rettet mot all byggevirksomhet som resulterer i en bygning eller annen struktur, herunder «alt som dekker grunnen», som vil påvirke grunnens evne til å absorbere regnvann. Nåværende metoder for godkjenning, bygging og vedlikehold av konvensjonell drenering gjennom rørledninger vil bli erstattet med liknende fremgangsmåter for SUDS. Det skal etableres en ny rolle for lokale myndigheter (på enhets- og fylkesnivå) som «SUDS Approving Bodies» (Godkjenningsorganer for SUDS) og de vil bli

pålagt å godkjenne alle SUDS-ordninger med unntak av atskilte eiendommer. I tillegg vil det bli fastsatt nasjonale standarder for bygging og vedlikehold av SUDS-systemer innen 2011.

I Skottland har en styringsgruppe utgått fra Sustainable Urban Drainage Scottish Working Party og The Society of Chief Officers for Transportation in Scotland (et paraplyorgan som representerer alle kommuner i Skottland) – iverksatt omfattende veiledning om SUDS for godkjenning. En utkastversjon av *SUDS for Roads* ble lansert i september 2009.

Utformingen av dreneringssystemer, herunder fordrøyning og rensing av overflatevann, er inkludert i henholdsvis Building Regulations for England and Wales og Building Standards for Scotland.

**Ytterligere informasjon om loven, veiledning om regulering og byggeforskrifter er tilgjengelig på Interpaves «*Understanding Permeable Paving*» nettsider [www.paving.org.uk](http://www.paving.org.uk).**

### 3. PERMEABLE DEKKERS FUNKSJON

#### 3.1 KONSEPTET

Permeable dekker av betongstein er en ordinær type dekkeoverflate som tåler trafikk samtidig som de også fungerer som et dreneringssystem. I konvensjonelle dekker vil regnvann flyte på overflaten til grøfter hvor det samles opp og føres inn i rørledninger som leder vannet bort fra overbygningskonstruksjonen.

I motsetning til dette har permeable dekker av betongstein en dobbeltrolle idet de også fungerer som et dreneringssystem i tillegg til at de tåler trafikkbelastning. De lar vannet renne gjennom overflaten (mellom hver stein) og ned i det permeable underlaget som består av enten grove steinmaterialer og/eller hydraulisk bundet grove steinmaterialer, hvor det oppbevares og slippes sakte ut, enten ned i grunnen eller til neste trinn av SUDS-håndtering, eller til et dreneringssystem (Figur 1).

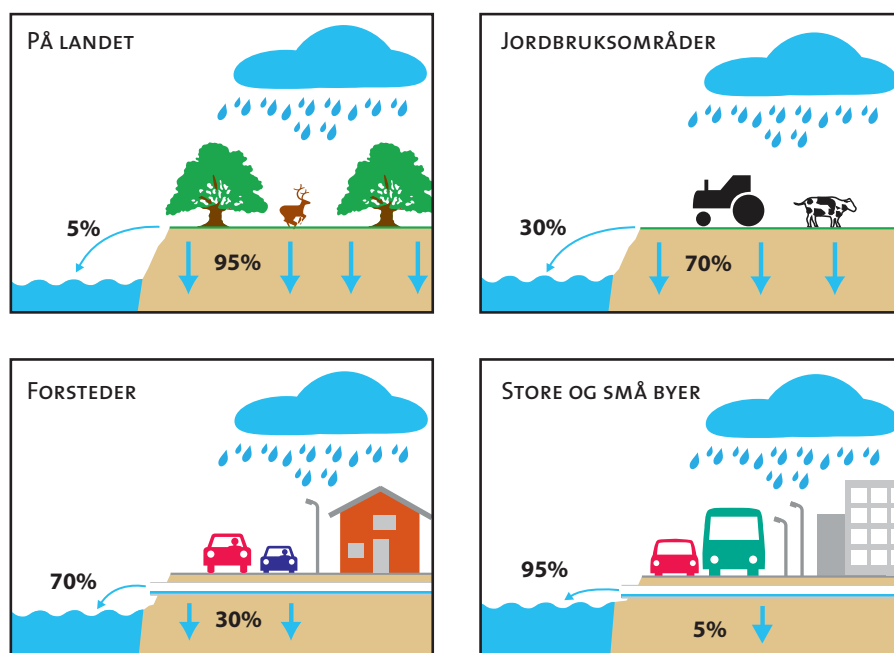


**Figur 1:** Hvordan permeable dekker fungerer. Mens vannet passerer gjennom dekket, fjernes også silt og andre forurensende stoffer, noe som reduserer forurensning nedstrøms.

## 3.2 AVRENNING AV OVERFLATEVANN

### 3.2.1 VANNSTRØMNING

Urbanisering, det økte antall utendørsanlegg, veier, innkjørsler, parkeringsområder med tett overflate, og faktisk også takflater, har dramatisk redusert muligheten for naturlig og bærekraftig drenering. I landlige områder finner kun 5% av overflatevannet veien direkte til elver, mens i tettbygde byområder blir 95% av regnet til overflatevann, noe som ytterligere belaster allerede overbelastede dreneringssystemer (Figur 2).

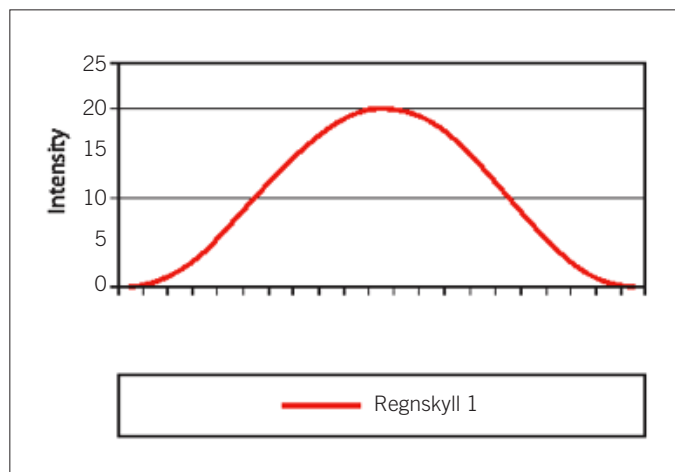


**Figur 2:** Hvordan urbanisering påvirker naturlig kildedrenering.

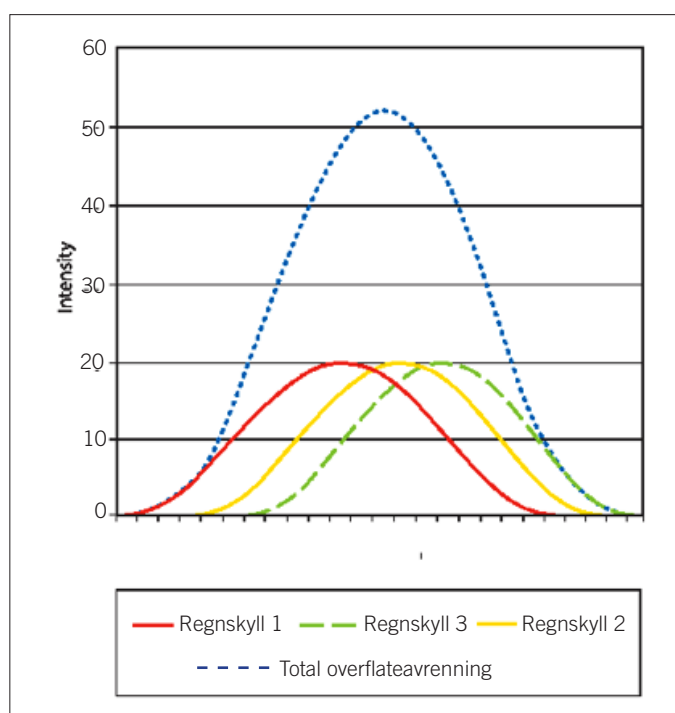
Forventede klimaendringer i Norge, se: Klima i Norge 2100  
Bakgrunnsmateriale til NOU  
Klimatilpasning,  
Norsk klimasenter, juni 2009

Denne urbaniseringen, sammen med det faktum at siden 1960-årene har det vært en 50% øking i antall kraftige regnværsperioder som varer i tre sammenhengende dager (dvs 3 sammenhengende dager med nedbørsaktivitet), som medfører en fortsatt økning i volumet av overflatevann som må håndteres. I tillegg til at vannvolumet har økt, renner det også av mye raskere, noe som forårsaker plutselig vannøkning i vassdragene.

For å illustrere dette fremstiller Figur 3 mønsteret av et idealisert regnskyll. Her begynner regnet i tidligste stadiene som yr som tilar i intensitet mot midtpunktet av kurven, som representerer regnskyllets mest intense del. I dette tilfellet er styrken og varigheten ikke relevant for formen, og er kun angitt for illustrasjonsformål. Den kumulative virkningen av tre etterfølgende og delvis overlappende regnskyll med samme varighet og maksimal intensitet er vist i Figur 4. Det mye større avrenningsvolumet, som må håndteres, er angitt av den blå summasjonskurven.



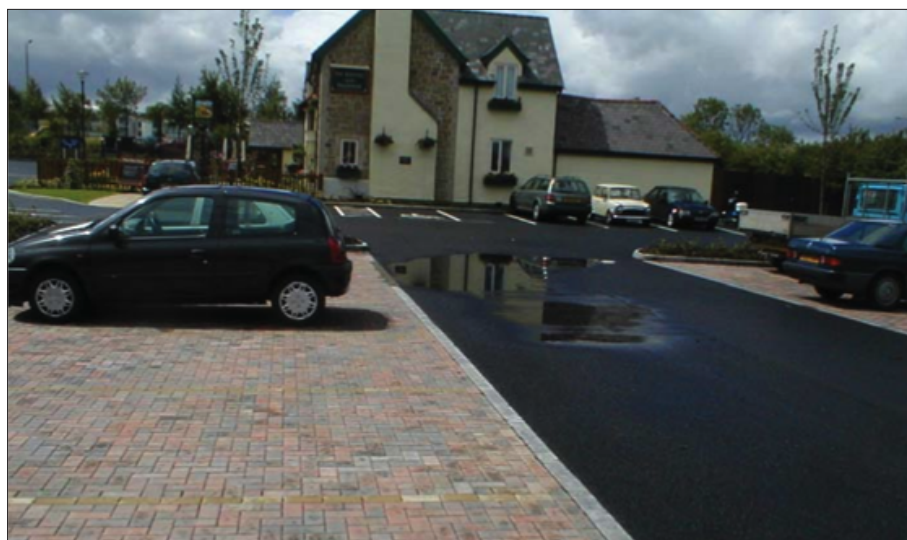
**Figur 3:** Typisk regnskyllmønster.



**Figur 4:** Kumulativ virkning av overlappende regnskyll.

Overflateavrenning fra tette dekker oppstår på følgende måte: først våtes overflaten av regn, og etter hvert som regnet øker, begynner vann å danne pytter i fordypninger på overflaten, til disse fylles opp. Deretter renner overflatevannet mot dreneringspunkter eller ut i vassdrag. Det rennende vannet beskrives som overflateavrenning, mens vannet som dannes i pytter vil bli absorbert eller fordampe. Den tiden det tar for vannet å renne fra det punktet som ligger lengst borte og til stedet hvor vannet føres inn i dreneringssystemet, kalles konsentrasjonstiden. Når det gjelder tradisjonelle tette overflater, er avstanden fra punktet lengst borte til et grøfteinnløp kanskje mellom 20 og 30 m. I motsetning til dette er konsentrasjonstiden for permeable dekker av betongstein kun den tiden det tar fra regndråpen treffer steinen til det renner ned i fugene.

Ettersom denne tiden er kort, er stående vann på dekket og danning av pytter på overflaten mer eller mindre eliminert. Dette er mest tydelig når man sammenligner permeable dekker og tette overflater i liknende situasjoner. Det finnes sjelden pytter på en permeabel overflate sammenlignet med flere pytter på tette overflater (Figur 5).



**Figur 5:** Sammenligning av et tett dekke (til høyre) og et permeabelt dekke (til venstre) under samme regnforhold.

#### 3.2.2 FORURENSNING

Det finnes forurensning på veier og parkeringsplasser som følge av lekkasjer av drivstoff i form av drypp, dekkslitasje, støv fra atmosfæren, osv. Denne type forurensning oppstår fra en rekke kilder som er spredt utover et tettbygd område, og omtales som diffus forurensning. Regnet vasker forurensende stoffer bort fra overflaten.

Konvensjonelle dreneringssystemer, inkludert fordrøyningsbassenger, konsentrerer forurensende stoffer på en effektiv måte, og spyler dem direkte inn i dreneringssystemet når det kommer nedbør og videre inn i vannløp eller i grunnvannet. Følgene av dette er en forringelse av den miljømessige kvaliteten på vassdragene. "EU-direktivet om vann og vannkvalitet" krever at utslipp av overflatevann skal håndteres for å redusere miljøkonsekvensene. Formålet er å beskytte vannmiljøet og minske forurensning fra diffuse kilder som urban drenering, noe som vil være en viktig brikke i arbeidet med å sette en effektiv stopper for den tradisjonelle tilnærmingen til drenering.

#### 3.2.3 KLIMAENDRINGER

Det finnes stadig flere beviser på at jordens klima er under endring. Som følge av dette er det sannsynlig at nedbørsmønsteret i Storbritannia vil endres, noe som vil medføre at:

1. Vintrene vil bli mildere og våtere med intense nedbørshendelser
2. Enkelte typer ekstremvær, slik som sterke regnskyl, vil forekomme oftere.

«*Foresight Future Flooding Report*» (Evans m/fl, 2004) har fastslått at det må installeres effektive dreneringssystemer for å verne urbane områder mot fremtidige oversvømmelser.

### 3.3 FORDELER

#### 3.3.1 VANNSTRØMNING

Permeable dekker av betongstein har mange fordeler, inklusive følgende hovedtrekk relatert til funksjon:

- Vannstrømning – oppfyller utformingskravene for drenering
- Bedre vannkvalitet – fjerner forurensende stoffer
- Nærmiljøhensyn – forbedrer nærmiljøet.

Permeable dekker håndterer overflatevannet i nærheten av hvor regnvannet treffer grunnen. Dette omtales som "kildekontroll" og er en grunnleggende del av SUDS-filosofien. De reduserer maksimale vannmengder, totalvolumet og hyppighet av overflateavrenning, og bidrar til å etterligne overflateavrenningskarakteristikker fra utbyggingsanlegg i grøntområder. I tillegg renses de og fjerner forurensning fra overflateavrenningen. Derved bidrar de til å håndtere problemene som forårsakes av ordinær drenering som er omtalt i forrige kappittel.

Permeable dekker kan bygges av praktiske, økonomiske og miljømessige årsaker så vel som for å oppfylle kravene i regulerings- og byggeforskriftene. I England og Wales krever Del H3 av byggeforskriftene at regnvann fra tak og dekker rundt bygninger skal føres inn i et filtreringssystem (som for eksempel et permeabelt dekke av System A, som drøftes nedenfor) heller enn i vannløp eller kloakkenettet så sant det er praktisk mulig. De skotske Byggestandardene (§ 3 – Miljøet) henviser konkret til drenering ved hjelp av SUDS-teknikker (igjen, for eksempel permeable dekker) og krever fjerning av forurensende stoffer fra overflatevannet. Permeable dekker er spesielt kostnadseffektive i urbane utbyggingsområder, hvor det er behov for parkeringsplasser, men utilstrekkelig plass for SUDS-teknikker som detensjons- eller retensjonsbassenger.

Permeable dekker kan brukes til å bevare tomteområdet ved å kombinere parkering med håndtering av overflatevann innenfor ett og samme konstruksjonselement.

En studie foretatt av H. R. Wallingford (Kellagher og Lauchlin 2003) har bekreftet at permeable dekker er én av de mest areal-effektive SUDS-komponenter som finnes, ettersom den ikke krever bruk av mer tomtegrunn (Figur 6).



**Figur 6:** Permeable dekker av betongstein i et tett utbygd område.

Permeable dekker er spesielt velegnet til å fungere som harde overflater innenfor rammeverket av et bærekraftig drenerings-system (SUDS), selv om de også er effektive, isolert sett. SUDS er en designfilosofi som anvender en rekke teknikker for å håndtere overflatevann ved hjelp av fordrøyning og filtrering. Permeable dekker er spesielt effektive ved utgangspunktet for et SUDS-håndteringsforløp, ettersom de har kapasitet til å redusere forurensende hendelser før det berørte vannet videreføres til mer sensitive miljøer, til forskjell fra fordrøyningsbassenger.

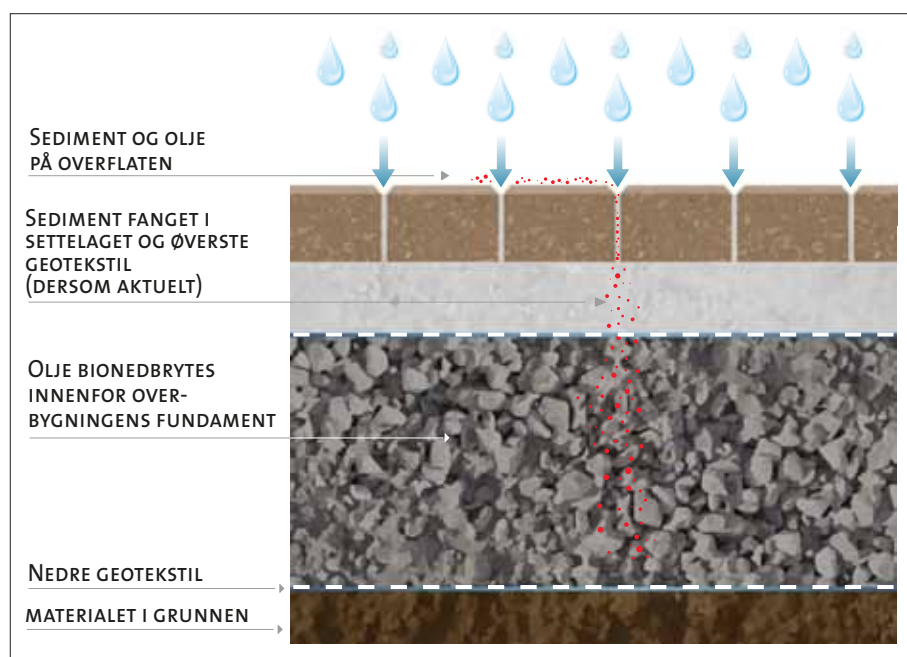
De er også meget nyttige i områder hvor kloaknettet er overbelastet under sterke regnskylt grunnet et større antall tette overflater på parkeringsplasser og bebygde tomter. I slike situasjoner kan det være mer lønnsomt med permeable dekker enn å erstatte eksisterende rør med større rør, noe som heller ikke er gunstig ettersom det kun driver det økte overflatevannet videre nedover, hvor det kan øke erosjons- og flomproblemer, i motsetning til fordrøyningsbassenger.

3.3.2 FORBEDRING AV  
VANNKVALITETEN

Uavhengig forskning på oppdrag fra Interpave og utført av spesialistkonsulentene Scott Wilson (Interpave, 2006), evaluerte 250 ulike tilfeller og sammenlignet permeable dekker av betongstein med konvensjonelle dekker, av asfalt og stedbygget betong. Ved å ta høyde for dreneringsbehov ble de økonomiske fordelene ved permeable dekker av betongstein tydelig demonstrert for byggemetoder og materialkostnader som var kurante på det aktuelle tidspunktet, både når det gjelder byggekostnader og livsløpskostnader. Det anbefales å gjennomføre prosjektspesifikke kostnadsberegninger, inklusive drenering, for å vurdere fordelene med permeable dekker av betongstein.

Andre fordeler ved permeable dekker er at det er mulig å bygge flate parkeringsområder for supermarkeder som gjør det lettere å håndtere handlevogner, eliminerer vannoppsamlinger og reduserer risikoen for isdannelse på overflaten. Ved denne type bruk er det en ekstra fordel at man unngår regn som spruter fra biler som kjører gjennom vanndammer.

Dekker av betongstein er meget effektive til fjerning av forurensning fra overflateavrenning, til forskjell fra fordrøyningsbassenger. De forurensende stoffene kan enten forbli på overflaten (spesielt dersom disse er helt flate) eller de spyles ned i dekkets underliggende fundament hvor mange av de forurensende stoffene filtreres og fanges opp, eller de nedbrytes over tid (Figur 7).



**Figur 7:** Hva som skjer med forurensende stoffer i et permeabelt dekke.

Hydrokarboner kan nedbrytes, men andre forurensende stoffer, slik som tungmetaller, nedbrytes ikke, men blir værende i overbygningen i lang tid, noe som gjør permeable dekker ideelle for områder hvor kjøretøyer står oppstilt eller vedlikeholdes. Ytterligere informasjon om fjerning av forurensende stoffer er gitt i CIRIA Reports C 697, C 609 og C 582 (CIRIA 2007, 2004 og 2001). Gjennomført forskning påviser hvor effektive permeable dekker er til å fjerne forurensning. De kan for eksempel fjerne mellom 60 og 95% av alle svevepartikler og 70 til 90% av hydrokarboner. Når de utsettes for små mengder av oljedrypp, slik som på parkeringsplasser, kan hydrokarbonene bionedbrytes i det uendelige.

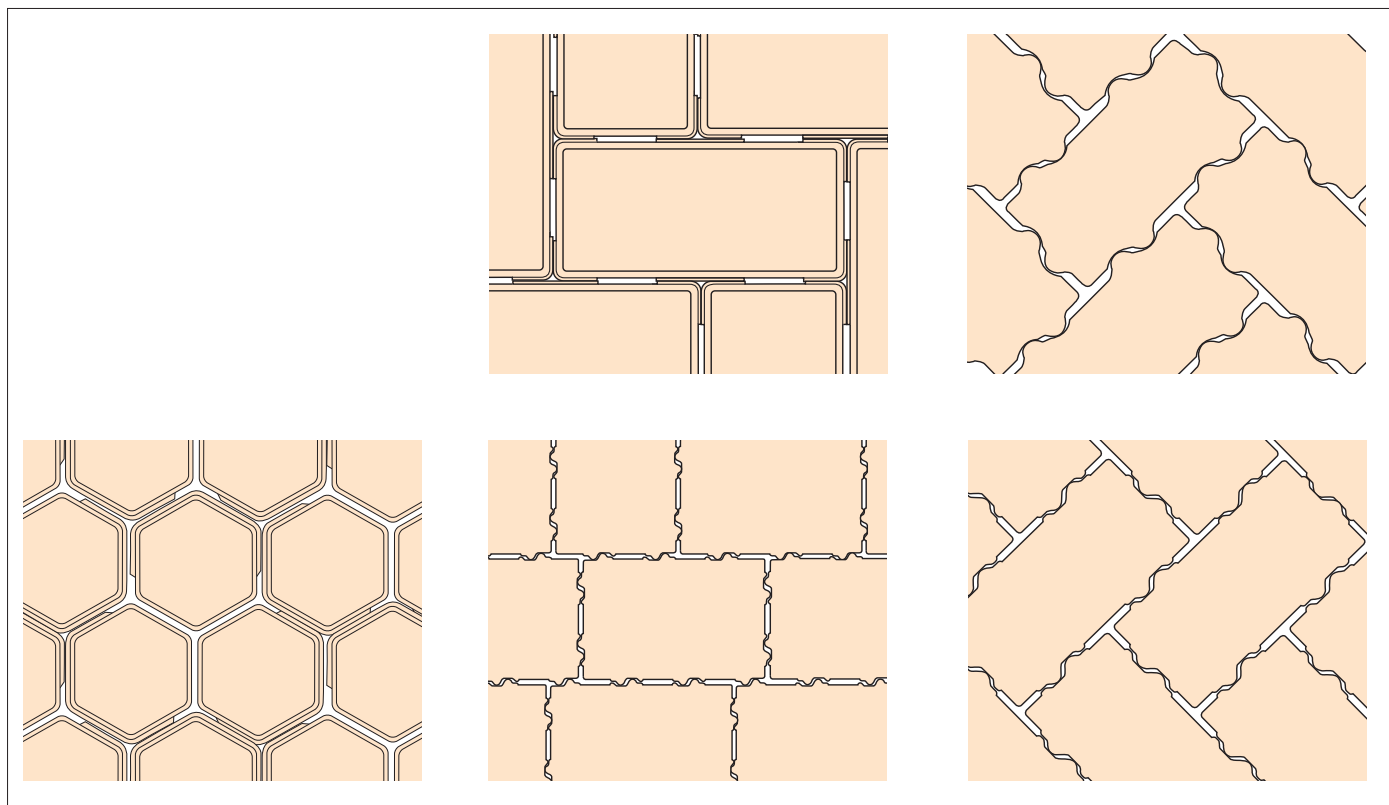
*«Pollution Prevention Guideline» PPG 3 (Environment Agency, 2006) fastslår permeable dekkers velegnethet til å fjerne forurensning fra overflateavrenning. Veiledningen påpeker at: «Teknikker som håndterer forurensning nært opptil kilden, slik som permeable overflater eller infiltrasjonsgrøfter, kan utgjøre en hensiktsmessig metode for håndtering av overflateavrenning fra lavrisikoområder, som for eksempel tak, parkeringsplasser eller områder uten virksomhet.»*

I Storbritannia kreves det ikke oljeseparatorer ved bygging av permeable dekker. Faktisk er permeable dekker mer effektive når det gjelder å fjerne et vidt spekter av forurensende stoffer fra overflateavrenning enn oljeseparatorer (CIRIA, 2004). Dersom det kreves ytterligere behandling i høyrisikoområder, er det vanligvis mer effektivt å bruke grønne SUDS-metoder, som for eksempel diker eller våtområder, ettersom disse også behandler en større mengde av forurensende stoffer.

## 4. EGENSKAPER

### 4.1 ULIKE TYPER AV BETONGSTEIN

Ulike typer dekker av betongstein er utformet spesielt med tanke på bruk i permeable dekker. En omfattende beskrivelse av betongstein som leveres av medlemmer av Interpave finnes på **[www.paving.org.uk](http://www.paving.org.uk)**. Enkelte stein er utformet med utvidede skjøter som oppnås ved større enn vanlig avstandsknaster langs siden av hver belegningsstein, eller åpninger som genereres ved hjelp av geometriske former på steinen (Figur 8). Skjøter eller åpninger fylles i etterkant med et ensgradert fugemateriale. Størrelse og spesifikasjon av fugematerialet er spesifikke for hvert produkt og en bør rådføre seg med steinleverandøren for ytterligere veiledning. Uansett vil fugematerialet bestå av knust ensgradert steinmateriale. Konvensjonell fugesand kan være for tett og er derfor ikke egnet.



**Figur 8:** Eksempler på steinsorter som tilbys.

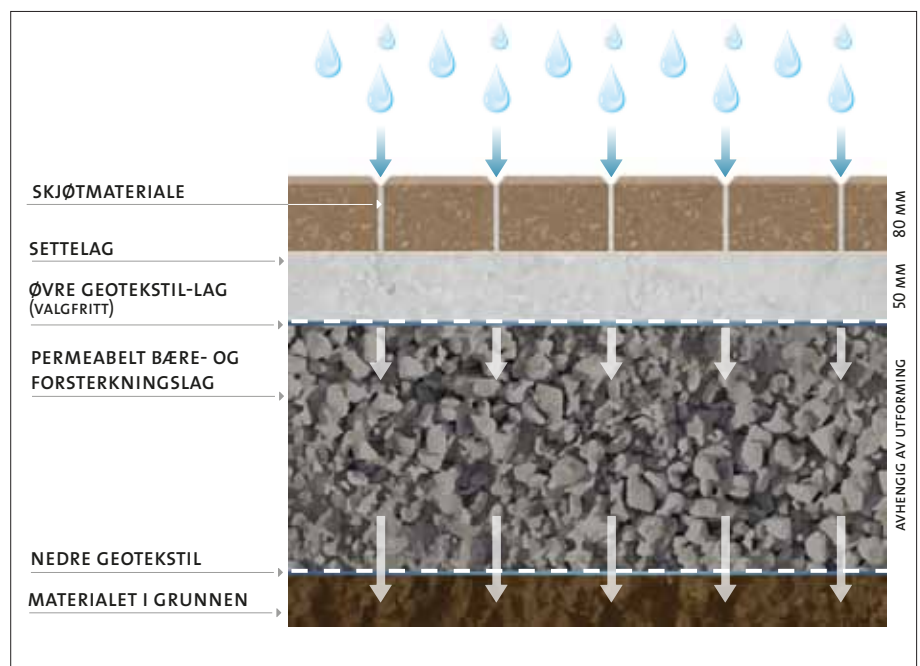
## 4.2 ULIKE TYPER AV PERMEABLE DEKKER

### 4.2.1 SYSTEM A – TOTAL INFILTRASJON

Det finnes tre hovedtyper av systemer som egner seg til permeable dekker. Disse er beskrevet her som System A, B og C som angitt i "SUDS-manualen" (CIRIA 2007). Følgende tegninger er kun veiledende og komplette byggetegninger finnes annetsteds i veiledningen.

Dette systemet (Figur 9) lar alt vannet som faller på dekket filtrere gjennom fugene eller åpningene mellom betongsteinene, passere gjennom underlaget og til slutt inn i undergrunns materialet. Noe midlertidig vannretensjon i forsterkningslaget vil forekomme, som vil medføre en midlertidig lagring før det etter hvert passerer gjennom.

System A kalles også "Null utslipp" ettersom det ikke slippes ut noe vann fra den nye utbyggingen til det tradisjonelle dreneringssystemet, og følgelig elimineres behovet for rør og grøfter, og kostnadene reduseres. I enkelte situasjoner kan det bli behov for overløp som tilleggsdrenering dersom dimensjonert kapasitet overskrides eller som en sekundær drenering i tilfelle systemet skulle bli mindre effektivt på grunn av finstoff i materialet.

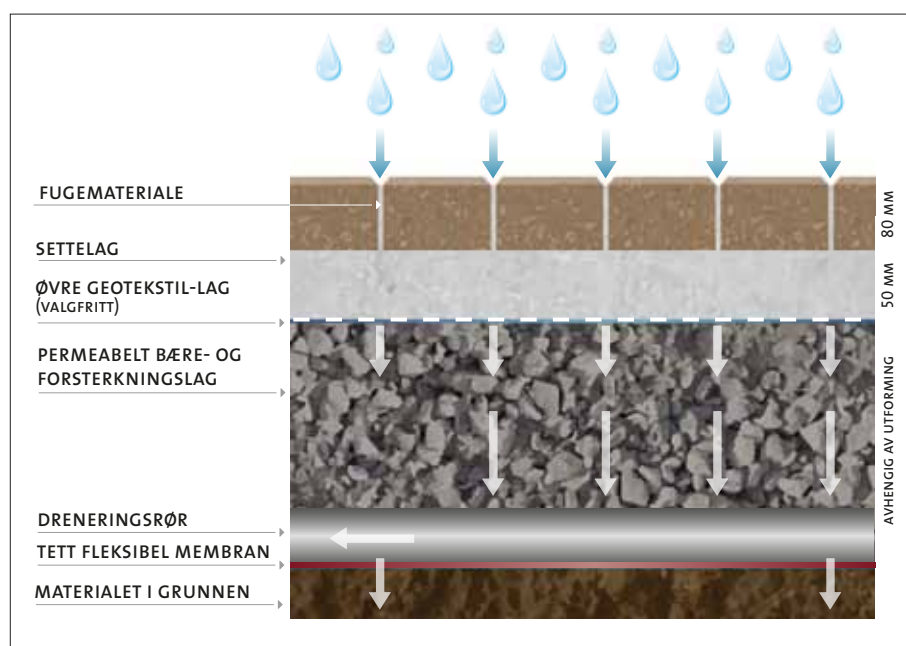


Figur 9: System A – total infiltrasjon

#### 4.2.2 SYSTEM B – DELVIS INFILTRASJON

I likhet med System A, kan System B brukes i tilfeller hvor det eksisterende undergrunnsmaterialet ikke er i stand til å absorbere alt vannet. Følgelig kan dette systemet forebygge at den eksisterende massen taper stabilitet. I System B (Figur 10) er avløpsrør tilkopleet det permeable bærelaget og lar overskudd av vann dreneres til andre dreneringssystemer, som for eksempel kloakkledingsnettet, diker eller vassdrag.

En bestemt mengde vann får infiltrere ned gjennom systemet – som i praksis ofte utgjør en stor prosentandel av nedbøren. Det overskytende vannet samles opp og slippes deretter ut i kloakksystemer eller vassdrag, med en maksimum utslippsrate som avtales med tilsynsmyndigheten (Miljøetaten eller SEPA). Dette oppfyller kravet om å redusere avrenningsvolumet, og vil også mest sannsynlig eliminere behovet for eventuell langsiktig



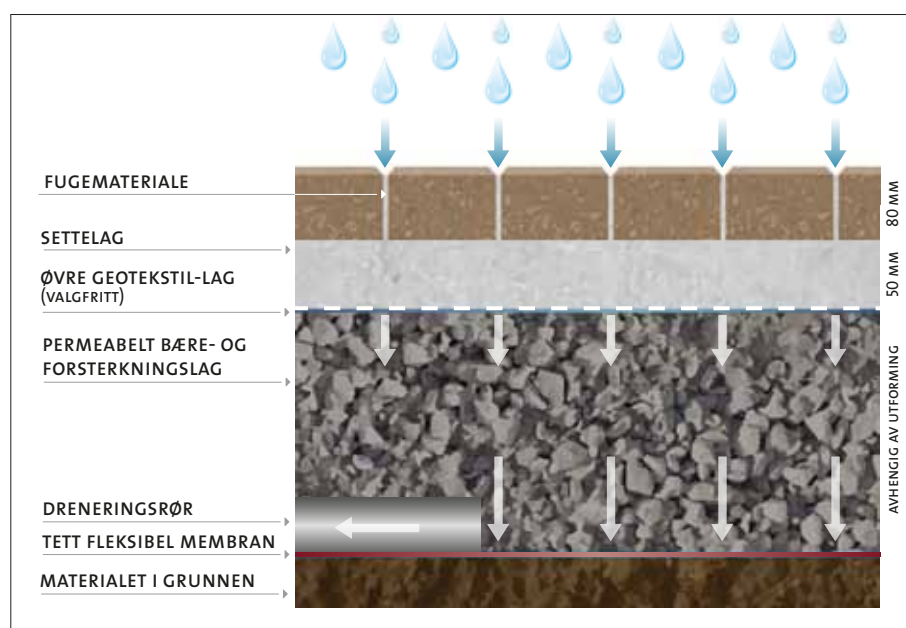
**Figur 10:** System B – delvis infiltrasjon.

### 4.2.3 SYSTEM C – INGEN INFILTRASJON

Dette systemet (Figur 11) sørger for fullstendig oppsamling av vannet ved hjelp av en tett, fleksibel membran plassert på materialet i grunnen og opp langs sidene på det permeable forsterkningslaget, slik at det danner et lagringsbasseng. Dette blir gjort dersom det eksisterende materialet i grunnen har lav permeabilitet, eller er svakt og får redusert bæreevnen ved tilførsel av mer vann. Tanken kan også brukes til å samle opp vann eller til å hindre at vann trekker inn i grunnen i sensitive områder, for eksempel områder med vannuttak. Det legges avløpsrør gjennom den tette membranen på egnede steder for å overføre vannet til kloakkanlegg, vassdrag eller vannbehandlings-systemer. Det er viktig at avløpsrør utformes slik at de begrenser vannstrømningen, og at vannet derved lagres midlertidig innenfor dekket og slippes ut gradvis.

System C er spesielt velegnet for forurensede anlegg, ettersom det hindrer forurensende stoffer fra å trekke videre ned i undergrunns materialet, hvor de til slutt skylles ned i grunnvannet. Det kan også fungere som en underjordisk retensjons-/ oppbevaringssone, og i enkelte tilfeller kan det lagrede eller oppfangede vannet samles opp, renses, lagres eller gjenbrukes til andre formål, som for eksempel til spyling av toaletter (dvs. "gjenbruk av regnvann") eller til irrigasjon (se Oppsamling av regnvann). Omfattende forskning, som er sammenfattet i CIRIA C 609, har vist at permeable dekker kan redusere forurensning betydelig, selv om det tidvis kan være behov for å behandle vannet før det brukes. Som regel kreves ikke dette når vannet brukes til toalettspyling eller irrigasjon.

I Norge ansees settelag med tykkelse  $30 \pm 10$  mm å være optimalt i forhold til belegningens levetid og funksjonsegenskaper.



**Figur 11:** System C - ingen infiltrasjon.

### 4.3 SYSTEMER SOM ERSTATTER PERMEABELT FORSTERKNINGSLAG

Denne type system er i skrivende stund (2011) ikke på det norske markedet.

Det finnes flere systemer på markedet som erstatter permeabelt forsterkningslag og som kan innlemmes i permeable dekker. Som regel består de av gitterplast, celleformede enheter, som er sammenbundet for å danne en flåtestruktur som erstatter noe av eller hele det permeable forsterkningslaget, avhengig av forventet trafikkbelastning (Figur 12). Disse kan lages av resirkulert plast.



**Figur 12:** System som erstatter det permeable bære- og forsterkningslaget

### 4.4 OPPSAMLING AV REGNVANN

Vannlagringskapasiteten er større enn ved konvensjonelle granulære systemer og derved er det behov for cirka 30-40% av dybden på et granulært permeabelt forsterkningslag til den hydrauliske utformingen av dekket. Dette kan medføre en grunnere utgravning og mindre avfallsdeponering på fyllplass, noe som gjør dem spesielt økonomiske med tanke på tidligere industriområder og forurensede anlegg. Utformingen av disse systemene er mer spesialisert enn konvensjonelle permeable dekker, og man bør rådføre seg med leverandører/fabrikanter av disse systemene. I tillegg er de nyttige til danning av inn- og utløp til og fra det permeable forsterkningslaget, ettersom de kan plasseres mye nærmere overflaten på trafikkerte områder enn de fleste andre rørsystemer.

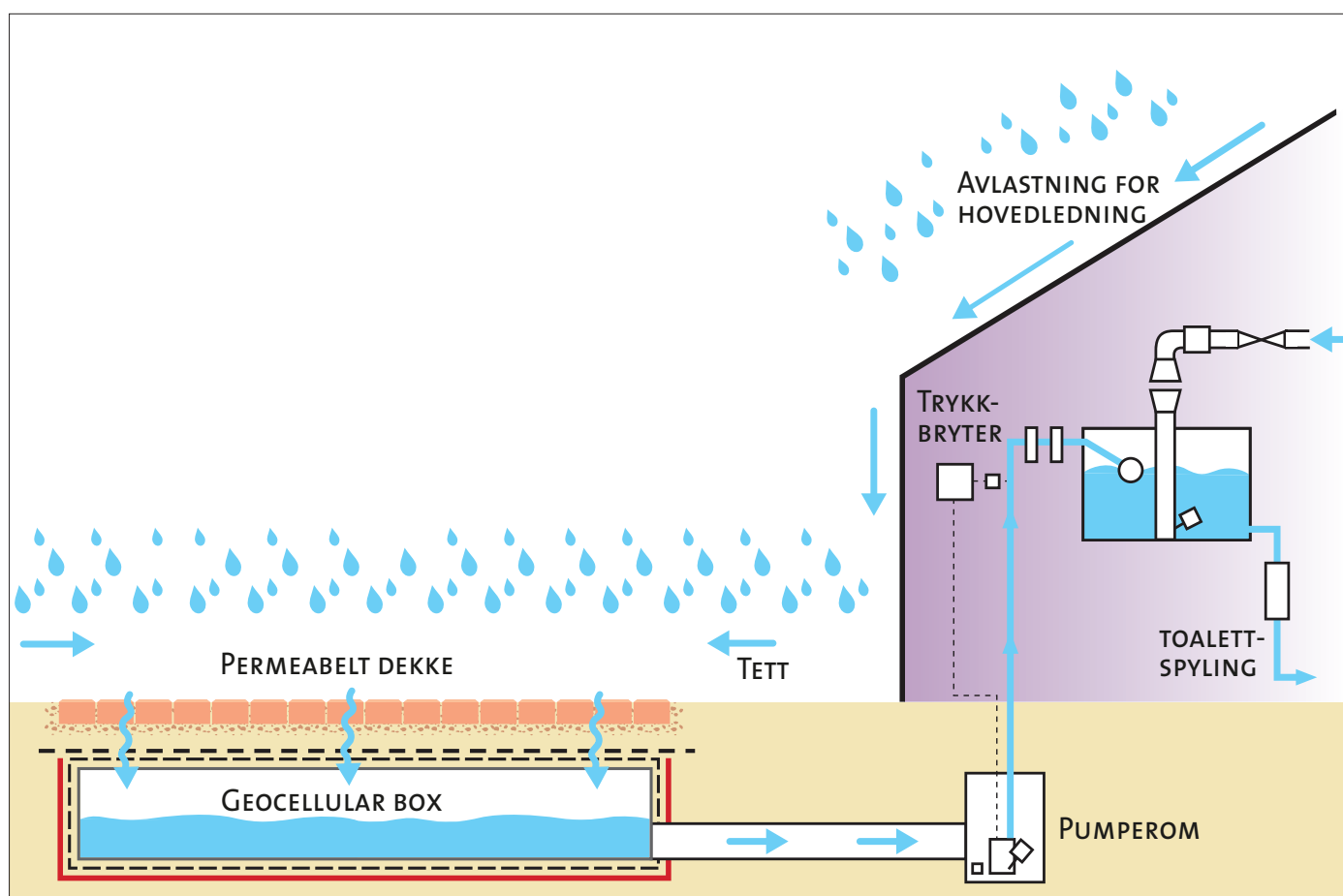
Oppsamling av regnvann er et system som innebærer at regnvann fra tak og harde overflater samles opp og brukes i og rundt bygninger. Vannet kan brukes til en rekke andre formål enn drikkevann, som for eksempel spyling av toaletter og vanning

av hager. Overflateavrenningen som samles opp må være fri for debris og sediment. Permeable dekker filtrerer vannet, slik at dette oppnås.

Vannet kan lagres i det permeable forsterkningslaget under et permeabelt dekke av betongstein (som henviser til i "SUDS-manualen"). Det er imidlertid meget viktig å merke seg at normalt er lagringsvolumet for gjenbruk atskilt fra fordrøyningslagring av nedbør. Årsaken til dette er at de to lagringstypene har ulike krav:

- Gjenbruk av regnvann – må være fullt mest mulig av tiden slik at vannet er klart til bruk.
- Fordrøyningslagring av regnvann – må være tomt mest mulig av tiden slik at det kan brukes til midlertidig lagring etter kraftige regnskyll.

Veiledning vedr. utforming av systemer for gjenbruk av regnvann er gitt i CIRIA Report C 539 (CIRIA, 2001) og i "SUDS-manualen". Figur 13 inneholder et eksempel på systemet, som er installert på en ny skole i Milton Keynes, Storbritannia.



**Figur 13:** Et eksempel på et system for oppsamling av regnvann på en skole i Milton Keynes.

### 4.5 OPPRUSTNING

Permeable dekker reduserer både volum og hyppighet av overflateavrenning fra anlegg. Med tanke på oppsamling av regnvann anbefales det derfor at det anvendes konservative beregninger for overflateavrenning fra permeable områder. En avrenningsfaktor på 40% anbefales for systemer for oppsamling av regnvann, basert på anbefalingene i "SUDS-manualen". Permeable dekker kan opprustes til anlegg (Figur 14), for eksempel under rehabiliteringsarbeid eller som et ledd i en planlagt innsats for å redusere overflateavrenning av regnvann og en kvalitetsoppgradering.



**Figur 14:** Opprustede permeable dekker av betongstein i et boligområde i Bristol.

## 5. VALG AV DEKKESYSTEM

### 5.1 UNDERGRUNNS-MATERIALETS PERMEABILITET

Ett av hovedkriteriene ved valg av dekke, er undergrunns-materialets permeabilitet, som fastsettes ved gjennomføring av tester på anlegget. Normalt gjennomføres infiltrasjonstester av tradisjonelle dreneringskummer ved dybder i overkant av 1 m under bakkenivået. Permeable dekker infiltrerer vann inn i grunnen på mye grunnere dybder enn tradisjonelle dreneringskummer og derfor bør infiltrasjonstester gjennomføres nært opptil dekkets endelige formasjonsnivå. Som regel innebærer dette at testene gjennomføres på et mye grunnere nivå (mindre en én meters dybde) og bruker et lavere vannivå (differensialtrykk), for å etterligne det permeable dekkets funksjon. Tabell 1 anbefaler hensiktsmessige dekkesystemer for en rekke undergrunns-materialforhold, inklusive permeabilitet avledet fra infiltrasjonstester, mens Tabell 2 gir veiledning om klassifisering av jordmassen.

**Tabell 1:** Veiledning for valg av dekkesystem.

|                                                                                                      |                          | System A<br>total<br>infiltrasjon | System B<br>delvis<br>infiltrasjon | System C<br>Ingen<br>infiltrasjon |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Undergrunns-<br>materialets<br>permeabilitet definert<br>av permeabilitets-<br>koeffisient $k$ (m/s) | $10^{-6}$ til $10^{-3}$  | ✓                                 | ✓                                  | ✓                                 |
|                                                                                                      | $10^{-8}$ til $10^{-6}$  | x                                 | ✓                                  | ✓                                 |
|                                                                                                      | $10^{-10}$ til $10^{-8}$ | x                                 | x                                  | ✓                                 |
| Høyest registrerte vannspeil innenfor<br>1000 mm av<br>formasjonsnivå                                |                          | x                                 | x                                  | ✓                                 |
| Forurensende stoffer<br>som finnes i undergrunns-<br>materialet                                      |                          | x                                 | x                                  | ✓                                 |

**Tabell 2:** Veiledning for klassifisering av jordmasse.

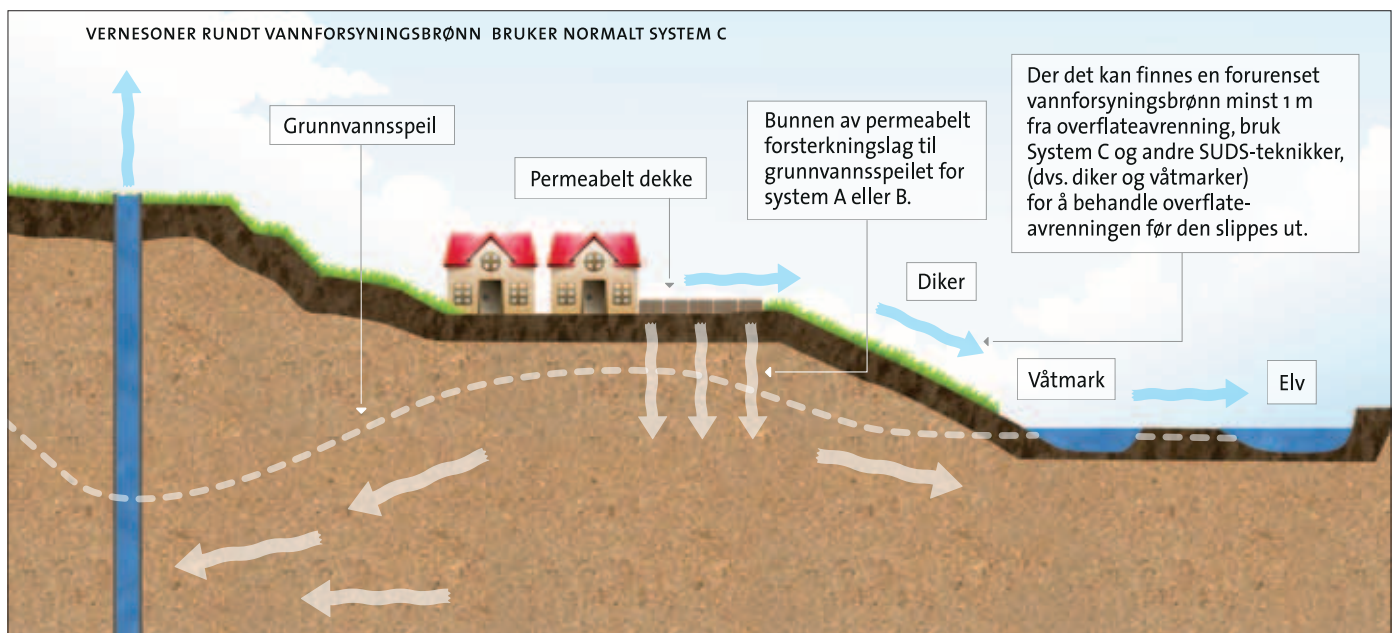
| Klassifisering av<br>jordmassen | Typisk verdiområde for<br>permeabilitetskoeffisi-<br>ent $K$ (ms) | Typiske områder<br>for CBR-verdier |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Feit leire                      | $10^{-10}$ til $10^{-8}$                                          | 2 til 5                            |
| Siltholdig leire                | $10^{-9}$ til $10^{-8}$                                           | 3 til 6                            |
| Sandholdig leire                | $10^{-9}$ til $10^{-6}$                                           | 5 til 20                           |
| Dårlig gradert sand             | $5 \times 10^{-7}$ til $5 \times 10^{-6}$                         | 10 til 40                          |
| Godt gradert sand               | $5 \times 10^{-6}$ til $10^{-4}$                                  | 10 til 40                          |
| Godt gradert<br>sandholdig grus | $10^{-5}$ til $10^{-3}$                                           | 30 til 80                          |

## 5.2 ANLEGGETS SÆRTREKK

Det finnes en rekke andre faktorer som må tas i betraktning når man skal velge det mest hensiktsmessige systemet for et anlegg:

### 5.2.1 GRUNNVANNSSPEILETS NIVÅ

For System A og B må det høyest registrerte grunnvannsnivået være mer enn 1000 mm under bunnen av den permeable forsterkningslaget. Dette er for å muliggjøre filtrering av forurensende stoffer inn i jordmassen under dekket, og for å hindre at grunnvannet stiger og reduserer lagringsmulighetene i det permeable forsterkningslaget.



Figur 15: Vern mot forurensning.

### 5.2.2 FORURENSNINGSVERN

Det finnes definerte områder rundt borehull for offentlig vannforsyning som kalles kildevernsoner (Figur 15). I disse områdene er det mulig at System A permeable dekker ikke er hensiktsmessige og at System C er bedre egnet. Bruk av permeable dekker på disse stedene bør følge den generelle veiledningen som er gitt i siste versjon av "Groundwater Protection. Policy and practice", utgitt av Environment Agency. En kan gjennomføre detaljerte risikoanalyser som følger veiledningen gitt i Rapport P2-174 (Environment Agency, 2001) for å fastslå hvorvidt et permeabelt dekke kan aksepteres slik det er, eller om det kreves ytterligere behandling. I et tilfelle fra nyere tid viste det seg at bruk av et permeabelt dekke innenfor en vernsone for en vannforsyningskilde var en mindre risiko for vannforsyningsborehullet enn bruken av et større dreneringsbasseng utenfor sonen. Årsaken til dette er at det permeable dekket

behandlet overflateavrenningen for å fjerne forurensende stoffer og spredte avrenningsvannet over et stort område med lav intensitet sammenlignet med et tradisjonelt dreneringsbasseng.

Dersom et anlegg klassifiseres som et område med mye regnvann og det finnes en risiko for at forurenset regnvann kan trenge inn i grunnvannet, anbefales ikke permeable dekker slik de er, og da bør man bruke enten System C eller de andre håndteringsmetodene, slik som våtmarker (se Figur 15, Tabell 1 og "Pollution Prevention Guideline" - Nr 3' – Environmental Agency, 2006). Disse bruksområdene omfatter: opphuggingsanlegg for kjøretøyer, resirkuleringsanlegg, bensinstasjoner, service- og vedlikeholdsanlegg, og andre anlegg hvor potensielt forurensende stoffer håndteres.

### 5.2.3 UTSLIPPSSAMTYKKER

Dreneringsutslipp på overflaten fra enkelte anlegg, enten til grunnen eller til vassdrag, kan kreve utslippssamtykke. Nærmere opplysninger om hvilke anlegg som sannsynligvis ikke krever samtykke er angitt i "Interim Code of Practice for Sustainable Drainage Systems" utgitt av National SUDS Working Group, (2004). Tidligst mulig rådgivning med Environmental Agency anbefales. Utslipp av overflatevann i Skottland er under tilsyn av 'The Water Environment (Controlled Activities) (Scotland) Regulations 2005'. I henhold til disse forskriftene må utslipp av overflatevann til grunnen eller vannet godkjennes av The Scottish Environment Protection Agency (Den skotske miljøvernetaten) (SEPA). Godkjenningen er risikorelatert, hvor utslipp fra bygninger, inklusive overflatebelagte områder, klassifiseres som lavrisiko dersom de gjennomføres i henhold til de General Binding Rules (Generelle bindende regler).

### 5.2.4 NÆRHET TIL BYGNINGER

Permeable dekker kan brukes i nærheten av bygninger ettersom de muliggjør spredt infiltrasjon i likhet med naturlig vegetasjon: følgelig er 5 m veiledningen gitt i Building Regulations for soakways (som i motsetning angir enkeltpunksutslipp) ikke nødvendigvis gjeldende, ifølge avklaring fra de sentrale myndighetene. Dersom man imidlertid anvender et konsentrert utløp (som for eksempel et takdreneringsavløp) innenfor dekket, bør dette være tilstrekkelig langt borte til å unngå at bygningens stabilitet påvirkes. På mange byggeplasser, selv om vannstrømningen fra takene tas i betraktning, er forholdet mellom drenert område til dreneringsbassengområder for et permeabelt dekke mye mindre enn for et tradisjonelt dreneringsbasseng (mellom 3:1 og 6:1 for et permeabelt dekke sammenlignet med 30:1 og 300:1 for et tradisjonell dreneringsbasseng). Derved er vannmengden fra underlaget av permeable dekker mye mindre konsentrert.

### 5.3 ANDRE KRITERIER

System C-dekker kan dessuten mest effektivt brukes som et ledd i et vannoppsamlingssystem. Permeable dekker av betongstein er dessuten spesielt nyttige dersom det kreves en hard overflate like i nærheten av trær og annen beplantning, ettersom vannforsyningen til røttene kan opprettholdes. I tillegg til å fungere som vanninfiltrasjon, har permeable dekker av betongstein også vært brukt til å forebygge oppbygging av undergrunnsgasser, for eksempel for utbygging over fyllplassanlegg til spredning av metangass.

Permeable dekker er en meget fleksibel dreneringsmetode som er velegnet for flere ulike anlegg, inklusive områder med trafikk av tunge nyttekjøretøy. Det er viktig å ha en helhetlig tilnærming til prosjektplanlegging ved innarbeiding av permeable dekker. Kjøretøytrafikkens og fotgjengernes behov må veies opp mot dreneringsbehovet. I likhet med ethvert dreneringssystem, bør det tas høyde for avrenningsveier beregnet på ekstreme hendelser. Det er spesielt viktig å organisere servicerutiner i forhold til både permeable og tette dekker for å tilrettelegge for vedlikehold og service. Veiledning for planer og godkjenning av vegmyndighetene finnes i Interpaves dokument 'Understanding Permeable Paving' via [www.paving.org.uk](http://www.paving.org.uk).

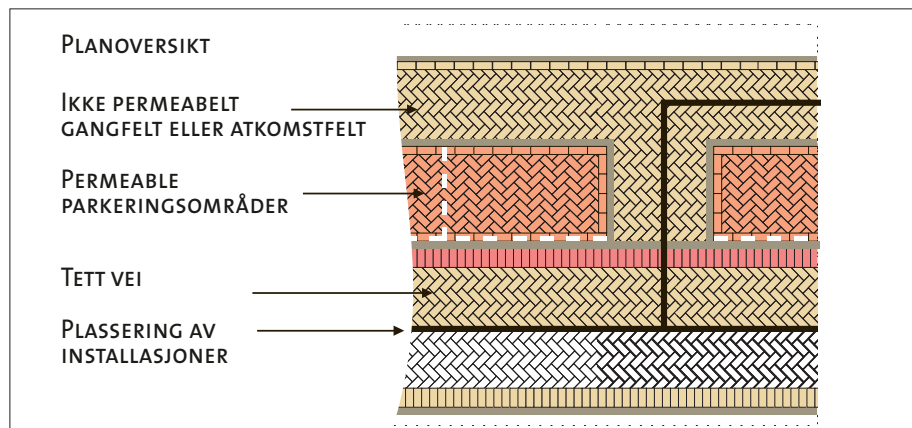
For å oppnå best mulig resultat og holde problemer på et minimum under byggeperioden, bør følgende faktorer tas i betraktning:

- Permeable dekker er uegnet der de vil bli utsatt for tung slambelastning fra planlagt bruk (dvs. lagring av sagspon eller store resirkuleringssentre som utsettes for stor slambelastning).
- Det er mulig å bygge deler av et område av tette materialer med drenering til et permeabelt dekke av betongblokker. Parkeringsplasser er ofte bygget med et permeabelt dekke og med tilkomstveier i tett materiale.
- Ensgraderte steinmaterialer i det permeable forsterkningslaget under det permeable dekket bør ikke tra av anleggskjøretøyene. Det finnes en lang rekke løsninger på dette som drøftes annetsteds i dokumentet, og én av dem er å unngå bruk av permeable dekker i områder hvor anleggstrafikken er størst.
- Utformingen av permeable dekker må også ta hensyn til vannets strømningsveier på overflaten dersom dimensjonerende kapasitet overskrides. Selv om overskridelsen vil resultere i oversvømmelse av enkelte områder på et anlegg, bør vannet ledes bort for å forebygge oversvømmelse av bygninger grunnet hendelser som langt overskrider systemets kapasitet. Ytterligere veiledning er gitt i CIRIA Report C 635 (CIRIA, 2006).

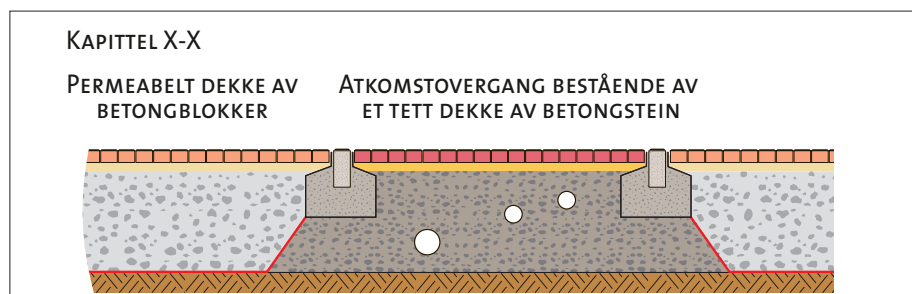
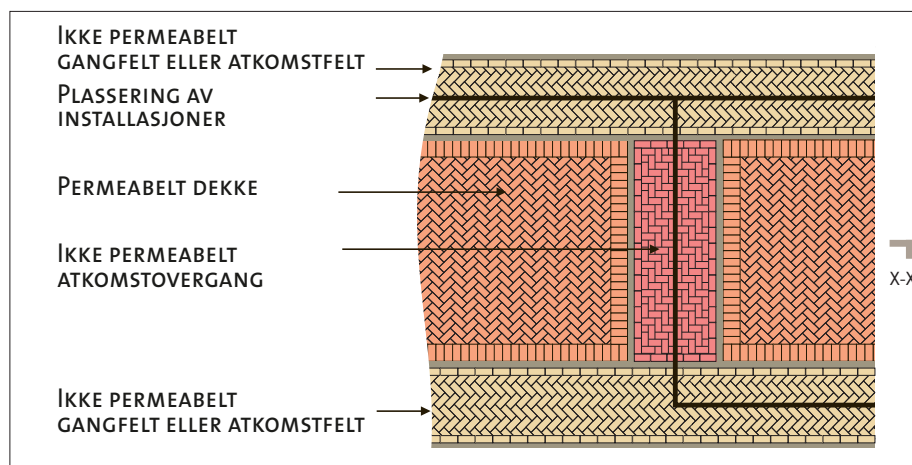
## 5.4 KORRIDORER FOR INFRASTRUKTUR

Det er ikke nødvendig at alle dekkene er permeable, ettersom CBPP er i stand til å håndtere overflatevann fra tilknyttede tette overflater, inklusive tak, basert på et estimert forholdstall på 2:1 tett: permeabelt. Med en omhyggelig utformet oversiktsplan kan offentlige tjenester som vann-, strøm og kloakk lokaliseres innenfor konvensjonelle tette områder eller kanter for å unngå CBPP, og eliminere behovet for utgraving samt fjerning av risikoen for å forstyrre CBPP for å få tilgang til disse tjenestene. Denne tilnærmingen kan også anvendes slik at den danner en hoveddel av hele planløsningen, både visuelt og teknisk, og gi planleggerne mulighet til å bruke sin fantasi til å realisere målsettingen til 'Manual for Streets'. For eksempel kan en tett sentral kjørebane brukes til å inneholde offentlige tjenester, visuelt differensiert fra CBPP-parkeringsplasser (Figur 16). Alternativt kan også tette atkomstoverganger brukes som gangfelt, klart differensiert fra CBPP, som er forbeholdt kjøretøy (Figur 17).

**Figur 16:** Plan for en alternativ planløsning med offentlige installasjoner lagt i en vei.



**Figur 17:** Plan og tverrsnitt av en typisk atkomstovergang ved hjelp av et tett dekke bygget innenfor et permeabelt dekke av betongblokker.



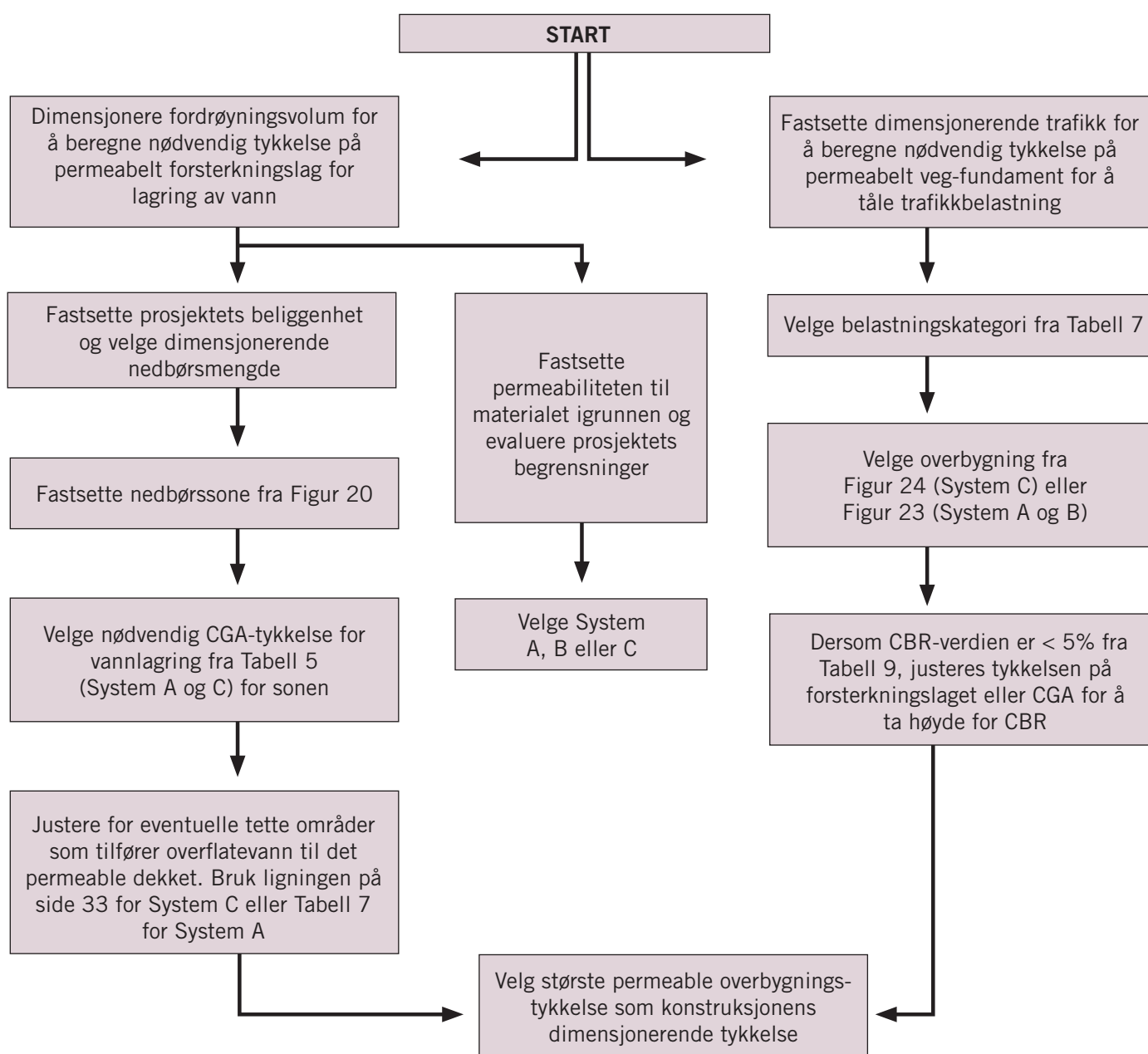
## 6. STRUKTURELL OG HYDRAULISK DIMENSJONERING

### 6.1 DIMENSJONERINGS-KRITERIER

Permeable dekker må utformes slik at de oppfyller to formål:

- Tåle trafikkbelastningen
- Håndtere overflatevann på en effektiv måte (dvs. inklusive tilstrekkelig lagring).

Derfor må det foretas to beregninger, og den største tykkelsen på det permeable forsterkningslaget som fremkommer av beregningen, skal brukes (Figur 18).



Figur 18: Plan egging av permeable veioverbygninger med betongstein

## 6.2 DIMENSJONERING AV FORDRØYNINGS- BASSENGET

Det er som regel ikke mulig å planlegge arealer som vil tåle det største regnværet som noen gang har forekommet. Som oftest er det mer fornuftig å tolerere en og annen overskridelse enn å planlegge for hvert enkelt kraftig regnskyll. I dette henseende er det nødvendig med data som angir returperiodene for nedbør av ulik intensitet og varighet. Returperioden angir det statistiske tidsintervallet for hvor ofte en nedbørsmengde med en gitt varighet og intensitet tangeres eller overskrides.

Det finnes tre overordnede, generelle prinsipper som må tas i betraktning ved planlegging av dreneringssystemer:

- Se til at mennesker og eiendeler på prosjektet er beskyttet mot oversvømmelser
- Se til at konsekvensene av utbyggingen ikke forsterker risikoen for oversvømmelser på noe sted i resipientvassdragets vannoppsamlingsområde.
- Håndtering av overflateflom for å sikre at ingen bygninger oversvømmes.

Den mest oppdaterte veiledningen om hydraulisk utforming av bærekraftige dreneringssystemer er gitt i "SUDS-manualen (CIRIA Rapport C 697)". SUDS-manualen anbefaler en rekke utformingskriterier for den hydrauliske effekten av SUDS som har til hensikt å redusere hyppighet, maksimale vannmengder og totalvolum av overflateavrenningen fra et prosjekt, i tillegg til å fjerne forurensning fra overflatevannet. Dette er mer omfattende enn tidligere krav, som i hovedsak har vært konsentrert om reduksjon av overflateavrenningens maksimale vannmengder. De siste kravene har til hensikt å etablere dreneringssystemer med utløpskarakteristikker som er mest mulig lik dem som finnes i naturen, og er også et krav i Planning Policy Statement PPS 25.

### Hovedkravene i SUDS-manualen er:

- Sørge for kildekontroll (dvs. kontrollere nedbøren nærmest mulig stedet hvor den treffer grunnen).
- Fjerne forurensningene fra de første 10 mm til 15 mm av overflateavrenningen.
- Etablere fordrøyningsbasseng for å redusere hyppighet og volum av overflateavrenningen fra et prosjekt. Kravet er å unngå at overflateavrenning oppstår ved regnbyger med inntil 5 mm nedbør.
- Sørge for langsiktig lagring for å redusere vannvolumet som strømmer til elver på kritiske tidspunkt. Kravet er å håndtere volumet av overflateavrenningen slik at det blir mer likt vannmengdene som kommer fra et grøntanlegg.

- Sørge for fordrøyning av vann for å redusere toppverdiene på overflateavrenningen fra et prosjekt, slik at den blir mer lik vannavrenningen fra grøntanlegg.
- Ta høyde for klimaendringer.

Permeable dekker av betongstein er en ideell løsning som oppfyller alle kravene som er beskrevet ovenfor.

### 6.2.1 KLIMAENDRING

De norske pronosene for klimaendringer frem til år 2100 angir at antall dager med nedbør over 20 mm øker med 15 – 50% for kyststrøk om høsten og med 80% for innlandet

Håndbok 018 angir en klimafaktor på 1,3 for nedbør med 10 års returperiode og 1,4 for 100 års returperiode.

Klimafaktoren er ment å skulle fange opp de forventede klimaendringer i forhold til de benyttede nedbørsnormaler.

Det er generell aksept for at jordens klima er i endring. De mest nylig gjennomførte studiene har forutsett følgende:

- Vintrene vil bli mildere og våtere med mer intense regnvær.
- Somrene vil bli varmere og tørrere.
- Sterke regnskylt vil forekomme mer hyppig.

«Foresight Flooding Future Report» (Evans m.fl. 2004) konkluderte at metoder for effektiv håndtering av grunnen (inklusive drenering) må etableres for å verne urbane områder mot fremtidige oversvømmelser. For å ta høyde for klimaendringer, må dimensjonerende nedbørsintensitet økes. SUDS-manualen foreslår en rekke faktorer mellom 5 og 30%, mens Environment Agency og SEPA ofte angir en økning på 20% av nedbørsintensitet for regnskylt med 100 år returperiode.

### 6.2.2 ENHETER

En av de mest vanlige feilene som opptrer under planlegging av permeable dekker, er bruk av uriktige enheter. Årsaken til dette er at felles parametere er angitt i ulike enheter og må konverteres når man foretar beregninger. De mest vanlige enhetene og konverteringer mellom disse er angitt i Tabell 3.

| Parameter                                                                   | Enheter |        |                      |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------|--------|----------------------|--------|
|                                                                             | mm/h    | m/h    | m/s                  | l/s    |
| Nedbør                                                                      | 20      | 0,02   | $5,6 \times 10^{-6}$ | 0,0056 |
| Jordmassens infiltrasjonshastighet                                          | 3,6     | 0,0036 | $1 \times 10^{-6}$   | 0,001  |
| Strømningsmengde inn i steinbelagt overflate (gjennom fugene) når den er ny | 4500    | 4,5    | 0,0013               | 1,31   |

**Tabell 3:** Enheter og konverteringer

(merk at alle disse er angitt per m<sup>2</sup> noe som sjelden nevnes)

6.2.3 INFILTRASJONSDEKKER  
(SYSTEM A)

System A-dekker, der alt regnet får synke ned i den underliggende grunnen, oppfyller alle kriteriene for hydraulisk utforming som er angitt i SUDS-manualen (oppfangning, langsiktiglagring og fordrøyningslagring), fordivannet ikke strømmer direkte ut i et vassdrag. System A er den foretrukne løsningen for å oppfylle kravene i byggeforskriftene (Building Regulations) Del H.

## 6.2.4 KILDEKONTROLL

Bruk av permeable dekker av betongstein er en meget anerkjent kildekontrollteknikk og oppfyller derved kravene. Dette er fordi regnet kun strømmer over én stein før det føres inn i det underliggende permeable forsterkningslaget.

## 6.2.5 AVSKJÆRINGSLAGRING

Studier har vist at hyppigheten av overflateavrenning fra permeable dekker av betongstein er mindre enn fra normale drenerings-systemer. Årsaken til dette er at vannet trekker inn i steinene, settelaget og det permeable forsterkningslaget, og fordamper deretter når det slutter å regne. Selvsagt avhenger dette av de forutgående forholdene (dvs. værforholdene like før det begynte å regne). Resultatene fra ulike studier av permeable dekkers evne til å sørge for avskjæringslagring er oppsummert i Tabell 4. Disse viser at overflateavrenning fra permeable dekker typisk ikke forekommer for regn inntil 5 mm.

| Anlegg                                                    | Referanse                    | Fordrøyningslagring<br>(nødvendig mengde regn for å<br>forårsake overflateavrenning - mm) |         |                                            |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------|
|                                                           |                              | Maksimum                                                                                  | Minimum | Gjennomsnitt                               |
| National<br>Air Traffic<br>Control Services,<br>Edinburgh | CIRIA<br>(2001)              | 17,2                                                                                      | 2,6     | 7,3                                        |
| Kinston,<br>North Carolina                                | Kelly et al<br>(2006)        | >5                                                                                        | n/a     | n/a                                        |
| Sydney,<br>Australia                                      | Rankin<br>and Ball<br>(2004) | 16                                                                                        | 2,5     | 5<br>(typisk verdi<br>basert på<br>kurver) |

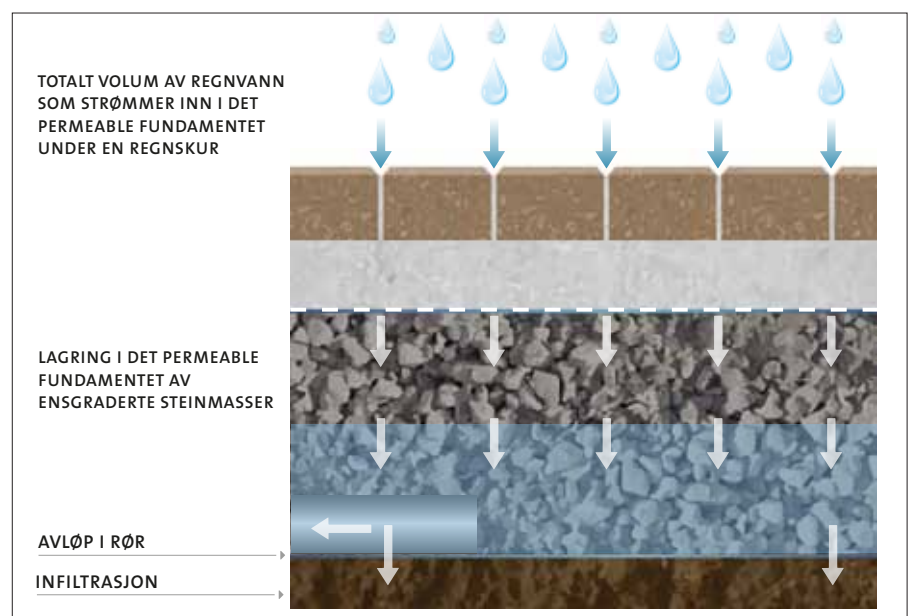
**Tabell 4:** Avskjæringslagring i permeable dekker.

I tillegg til å sørge for avskjæringslagring kom studiene frem til at det generelle vannvolumet som rant ut fra konstruksjoner med permeable dekker var betydelig redusert (mellom 50% og 90% sammenlignet med for tette asfaltdekker). For tiden anvender de fleste planer en overflateavrenningsfaktor fra 90% til 100%, noe som ut fra tilgjengelige data kan betegnes som konservativt.

Metode for oppsamling av regnvann (ved å bruke permeable dekker som lagringssted) kan også bidra til å redusere overflateavrenning fra små, hyppige regnbyger, selv om det er vanskelig å kvantifisere nøyaktig bidrag.

#### 6.2.6 FORDRØYNINGS-LAGRING

Det permeable fundamentet som kreves for fordrøyningslagring beregnes oftest ved hjelp av dimensjoneringsprogrammer basert på «Wallingford Procedure» (HR Wallingford, 2000). For de fleste arealer er mengden av vann som renner ned i det permeable fundamentet under en regnskur større enn mengden av vann som renner ut. Følgelig må det overskytende vannet (definert nedenfor) lagres i det permeable fundamentet for å hindre oversvømmelse på overflaten (Figur 19).



**Figur 19:** Volum for fordrøynings- og infiltrasjonslagring.

På denne måten begrenser det permeable dekket topphastigheten på overflateavrenningen fra et prosjekt (generelt til samme overflateavrenningshastighet som for et grøntanlegg). Beregningene er gjennomført for en rekke gjentakintervall og varigheter.

Statens vegvesens Håndbok 018  
Vegbygging angir følgende regler for  
dimensjonering for avrenning fra små  
felt:

$Q = C \cdot i \cdot A \cdot K_f$   
hvor

$Q$ = dimensjonerende avrenning, l/

$C$ = avrenningsfaktoren

$i$ = dimensjonerende nedbørs-  
intensitet

$A$ = feltareal

$K_f$ = klimafaktor

Nedbørsintensiteten for små arealer  
skal baseres på kvalitetsgodkjente  
data fra Meteorologisk institutt og kan  
hentes fra eKlima ([www.eklima.no](http://www.eklima.no))  
dersom representative data for det  
aktuelle området er tilgjengelig.

Klimafaktoren er 1,3 for nedbør med  
10 års returperiode og 1,4 for nedbør  
med 100 års returperiode.

For enkle, foreløpige utforminger kan Tabell 5 og 6 brukes til  
å beregne tykkelsen på det permeable fundamentet under det  
permeable dekket. Tabellene er basert på de hydrologiske nedbørs-  
områdene som er angitt på kartet i Figur 20.

Nedbøren på et prosjekt kan beregnes ved hjelp av to parame-  
tere sammen med tabellene og grafene i Wallingford Procedure  
for Europe. Disse beregningene er gjennomført for ulike soner og  
for ulike gjentakintervaller. Resultatene er brukt til å fastsette  
hvilken tykkelse lag med grove steinmaterialer må ha for å kunne  
lagre vann (Tabell 5 og 6).

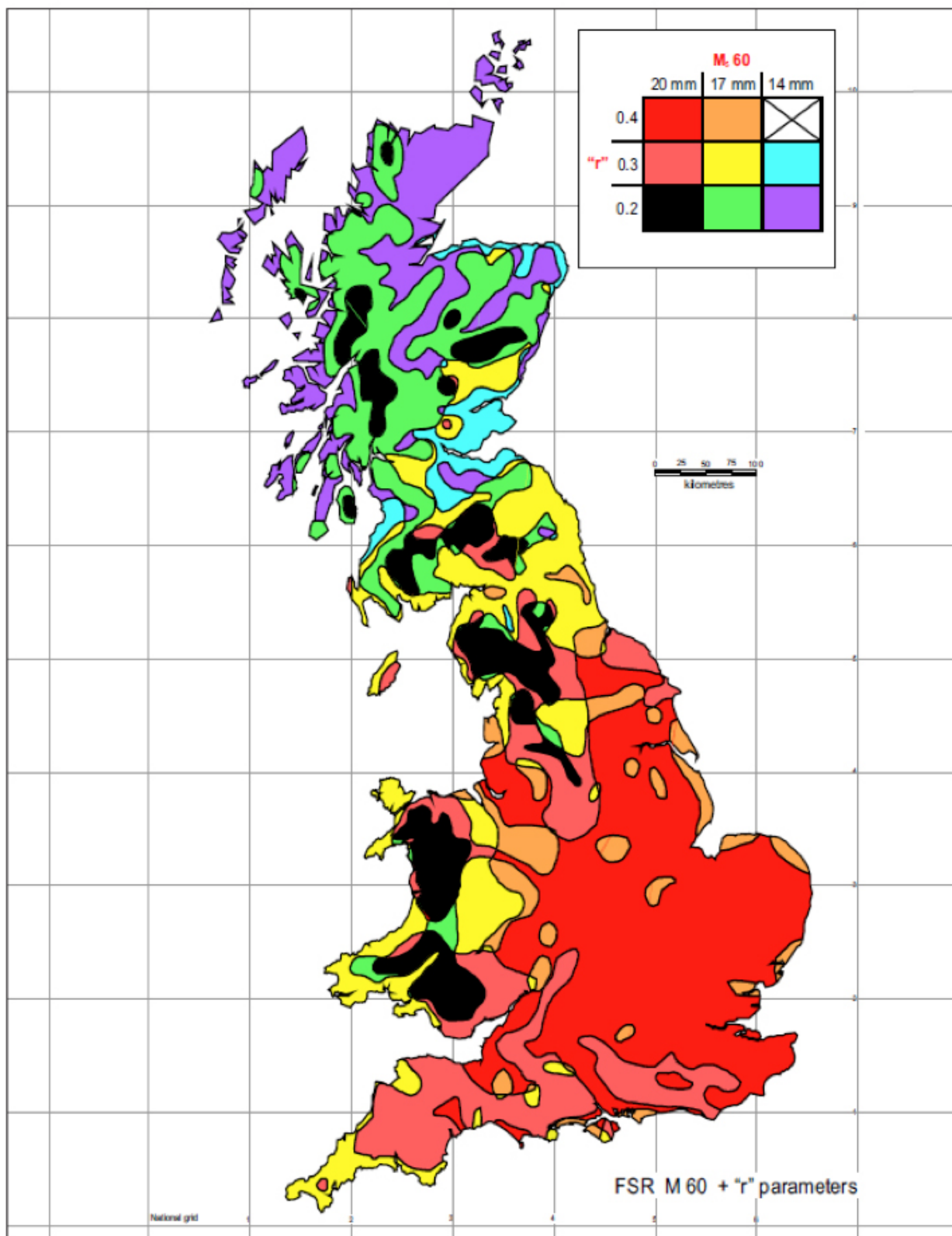
Dette kartet, som ble utviklet av HR Wallingford (Kellagher &  
Lauchlin, 2003), definerer åtte hydrauliske soner for Storbritannia  
ved hjelp av to parametre:

- $M5 - 60$  er nedbørsintensiteten med 60 minutters varighet,  
med 5 års returperiode
- « $r$ » er forholdet mellom nedbørsmengden i 60 minutter og  
2 dagers regnvær, begge basert på 5 års returperiode).

$$r = \frac{N_{60 \text{ minutter}}}{N_{2 \text{ døgn}}}$$

hvor  $N_{60 \text{ minutter}}$  = nedbørsvolum i et 60 minutters regn med  
returperiode (gjentakintervall) 5 år

$N_{2 \text{ døgn}}$  = nedbørsvolum i et regn med 2 døgns varighet og  
med returperiode (gjentakintervall) 5 år.



Gjengitt med tillatelse fra H.R. Wallingford.

**Figur 20:**

- $M_5 - 60$  er nedbør med 60 minutters varighet, med 5 års returperiode
- «r» er forholdet mellom nedbør i 60 minutter og 2 dagers nedbør, begge med 5 års returperiode)

Et hulrom på 30% er svært høyt i forhold til erfaringer i Norge

**Tabell 5:** Nødvendig tykkelse på det permeable fundament ut fra krav til vannlagring (System A og C).

| Nedbørsdata              | Forholdstallet $r$ | Nødvendig tykkelse på det permeable fundamentet (mm) |                             |                                                        |
|--------------------------|--------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|
|                          |                    | Nedbør, returperiode 30 år                           | Nedbør, returperiode 100 år | Nedbør, returperiode 100 år pluss 20% for klimaendring |
| $M_5-60 = 20 \text{ mm}$ | 0,4                | 120                                                  | 160                         | 210                                                    |
|                          | 0,3                | 140                                                  | 190                         | 240                                                    |
|                          | 0,2                | 180                                                  | 250                         | 310                                                    |
| $M_5-60 = 17 \text{ mm}$ | 0,4                | 100                                                  | 140                         | 180                                                    |
|                          | 0,3                | 110                                                  | 160                         | 210                                                    |
|                          | 0,2                | 150                                                  | 210                         | 270                                                    |
| $M_5-60 = 14 \text{ mm}$ | 0,2                |                                                      |                             |                                                        |
|                          | 0,3                | 90                                                   | 130                         | 170                                                    |
|                          | 0,2                | 110                                                  | 150                         | 220                                                    |

**Merk:** Tykkelsen forutsetter at det permeable fundamentet har en hulromsprosent på 30. Begrenset utslippsmengde på 7 l/s/ha. For System A er infiltrasjonsmengden høyere enn  $1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ . Sikkerhetsfaktoren for infiltrasjonsmengden for System A = 1,5 (basert på CIRIA-rapport 156). Forutsetter et flatt anlegg. Sikkerhetsfaktor for avløp for System C = 1. Forutsetter et flatt anlegg.

Tabell 5 er basert på følgende generelle, konservative forutsetninger:

- Konstruksjonen har lagringsmuligheter for dimensjonerende nedbør med henholdsvis returperiode 30 år, returperiode 100 år og returperiode 100 år med et tillegg på 20% for forventede klimaendringer, avrenningsmengden på overflaten av grøntanlegg er til enhver tid beregnet til 7 l/s/ha.
- Det er forutsatt 100% overflateavrenning fra det permeable dekket.

Beregningene er foretatt for et spekter av nedbørsvarigheter på inntil 24 timer og maksimalt regnvolum (tykkelse), dvs. regnvolum (tykkelse) ved kritisk varighet, er gitt i tabellen. Tabellene forutsetter videre at det ikke finnes tette områder som avgir vann på eller inn i det permeable dekket. Dessuten er det viktig at

permeable dekker tømmes relativt raskt (i henhold til kravene for lagring av vann over lengre tid) og det (viktigste) aktive lagringsvolumet bør være tømt 50% (halvtomt) i løpet av 24 timer etter at nedbøren fant sted. Dette kravet var opprinnelig beregnet på arealer som er dimensjonert for nedbør med 10 års returperiode (opptrer statistisk en gang i løpet av 10 år) og er nokså vanskelige å oppfylle når de anvendes på arealer som er utformet i forhold til nedbør med 100 års returperiode.

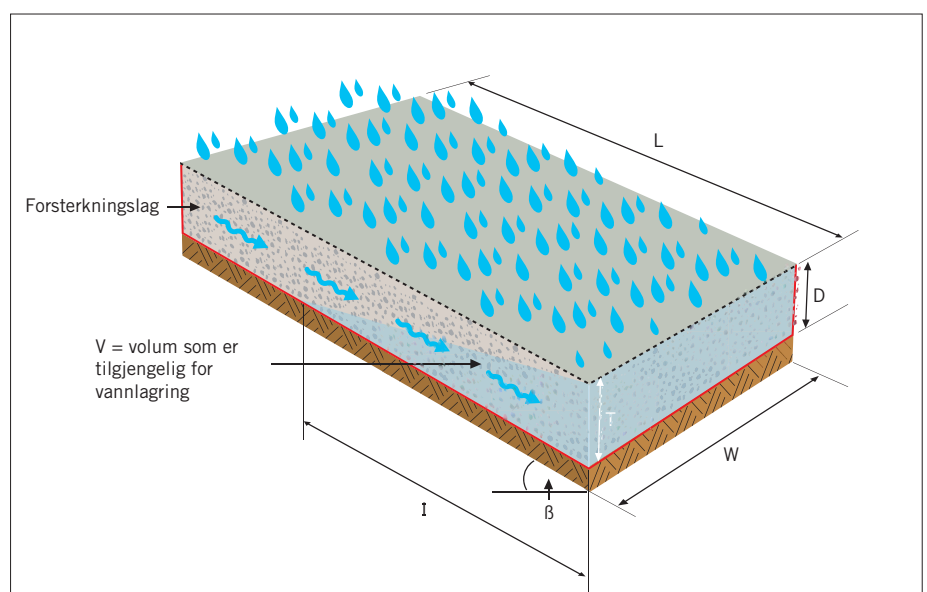
System B (delvis infiltrasjon) kan utformes på to måter:

1. Se bort fra overbygningens kapasitet for vannlagring og bruke Tabell 5 til å fastsette tykkelsen på det permeable fundamentet
2. Foreta stedsspesifikke dimensjonerende beregninger som tar høyde for infiltrasjonen som oppstår når vannet lagres. Dette er nokså komplisert og bør foretas ved hjelp av en dreneringsutformings-/analysepakke, som for eksempel Micro Drainage eller Info Works.

Tabell 5 forutsetter at det permeable fundamentet er horisontalt. I motsatt fall vil vannet strømme til det laveste punktet og redusere tilgjengelig lagringskapasitet (se Kapittel 6.2.7).

#### 6.2.7 HELLENDE TERRENG REDUSERER LAGRINGSKAPASITETEN

I helninger vil vannet strømme til den laveste enden av fundamentet, noe som vil redusere lagringskapasiteten (Figur 21).



**Figur 21:** Beregning av tilgjengelig lagringskapasitet på hellende anlegg.

Tilgjengelig volum på et horisontalt anlegg fremkommer som følger:

$$VL = W \times L \times D$$

Hvor:

VL = lagringsvolum i fundamentet på et horisontalt anlegg

W = er dekkets bredde

L = er dekkets lengde

D = er fundamentets tykkelse

For et hellende areal fremkommer lagringsvolumet som følger:

$$VS = 0,5 \times l \times T$$

Hvor:

l = forsterkningslagets lengde hvor vannet kan lagres =  $T/\tan\beta$

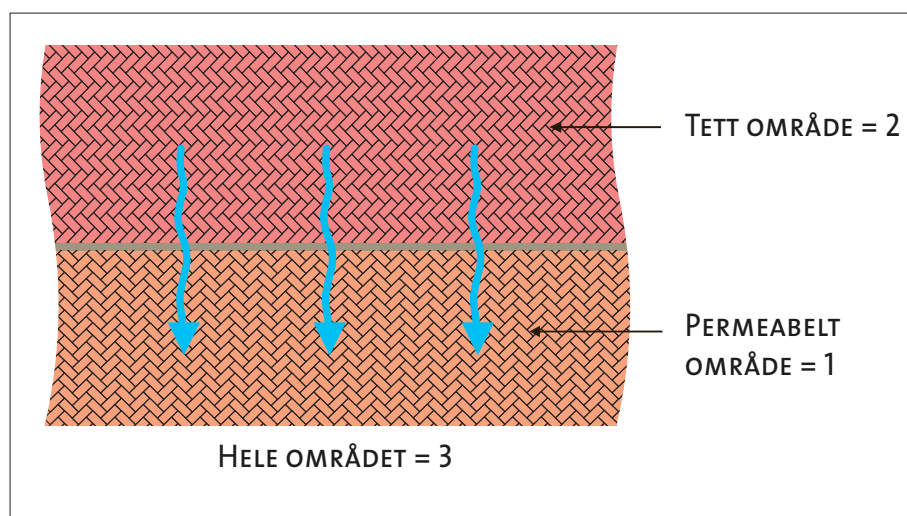
T = tykkelsen på forsterkningslaget målt vertikalt (på de fleste anlegg kan dette forstås som lik D)

$\beta$  = helningsvinkel

#### 6.2.8 DRENERING AV TETTE OMRÅDER INN I PERMEABLE OMRÅDER

Det nokså vanlig å utforme områder hvor det permeable dekket må håndtere overflateavrenning fra tilknyttede, tette områder, inklusive tak. Det er normal praksis å begrense forholdet mellom arealet av tett område og permeabelt dekke til cirka 2:1, som en tommelfingerregel og avhengig av prosjektets beskaffenhet (Figur 22). Dette har to årsaker:

1. Forholdstall som overstiger disse resulterer oftest i en tykkelse på det permeable fundamentet som er unødig stor og ikke kostnadseffektiv
2. Slambelastninger på det permeable dekket blir unødig store ved større forholdstall og risikoen for tetting av overflaten økes.



**Figur 22:** Forholdet mellom tett og permeabelt dekke.

Hvis for eksempel et prosjekt har et samlet areal på 1500 m<sup>2</sup> som skal dreneres, kan dette bestå av 1000 m<sup>2</sup> tett dekke som dreneres inn på et 500 m<sup>2</sup> stort areal med permeabelt dekke av betongstein.

For å ta høyde for det ekstra regnvannet som samles opp av det permeable dekket, må tykkelsen på det permeable dekkets fundament økes for å gi det større lagringskapasitet. For Type C-systemer kan tykkelsen på forsterkningslaget økes ved å anvende følgende ligning:

$$T = t (AI + AP)/AP$$

Hvor:

T = Nødvendig tykkelse på fundamentet for å lagre vann som kommer fra både tette og permeable områder

t = Nødvendig tykkelse på fundamentet for å lagre vann som kun kommer fra et permeabelt område (fra Tabell 5)

AI = Areal av område med tett overflate som dreneres til den permeable overflaten

AP = Areal av område med permeabelt dekke

For System A (infiltrasjon) kan Tabell 6 brukes.

| Nedbørsdata                | Forholdstallet r | Nødvendig tykkelse på det permeable fundamentet (mm) |                             |                                                        |
|----------------------------|------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|
|                            |                  | Nedbør, returperiode 30 år                           | Nedbør, returperiode 100 år | Nedbør, returperiode 100 år pluss 20% for klimaendring |
| M <sub>5</sub> -60 = 20 mm | 0,4              | 230                                                  | 340                         | 450                                                    |
|                            | 0,3              | 240                                                  | 360                         | 480                                                    |
|                            | 0,2              | 260                                                  | 400                         | 530                                                    |
| M <sub>5</sub> -60 = 17 mm | 0,4              | 190                                                  | 270                         | 360                                                    |
|                            | 0,3              | 190                                                  | 280                         | 380                                                    |
|                            | 0,2              | 200                                                  | 320                         | 440                                                    |
| M <sub>5</sub> -60 = 14 mm | 0,2              |                                                      |                             |                                                        |
|                            | 0,3              | 140                                                  | 210                         | 290                                                    |
|                            | 0,2              | 140                                                  | 230                         | 330                                                    |

**Tabell 6:** Tykkelse på permeabelt fundament for infiltrasjonssystem (System A) med oppsamling fra tett område.

**Merk:** tykkelsen forutsetter at det permeable fundamentet har en hulromsprosent på 30. Infiltrasjonsrate på 1 x 10<sup>-5</sup> m/s. Maksimum forhold mellom tett og permeabelt areal er 2 til 1.

## 6.2.9 LANGSIKTIG LAGRING

Permeable dekker av betongstein reduserer nedbørsvolumet som strømmer ut fra dem betydelig, og tiden det tar for vannet å strømme ut er mye lengre enn for konvensjonelle drenerings-systemer. Studier som er rapportert i CIRIA rapport C 582 (CIRIA, 2001) har vist at fra 11 til 45% av nedbøren strømmer ut fra dekket i løpet av et regnvær. I etterkant, i løpet av 2 til 4 dager etter et regnskyll, strømmer mer vann ut og fører til et totalt utløp på mellom 55 og 100%. Derved bør det permeable dekket kunne oppfylle formålet med langsiktig lagring, ettersom det vil redusere overflateavrenningsvolumet i kritiske perioder.

For de fleste, relativt små arealer vil det ikke være behov for permeable overbygninger med langsiktig lagring, spesielt ikke dersom det ikke samles opp overflateavrenning fra tette områder. Dette bør avklares med myndighetene under planleggingsfasen. For større arealer hvor dekket tar imot vann fra områder med overflateavrenning fra tette overflater med et arealforhold på 2:1, kan det hende det vil bli behov for en langsiktig lagringsmulighet. I så fall inneholder SUDS-manualen veiledning om hvor mye langsiktig lagring det er behov for på ulike prosjekt.

6.2.10 BRUK AV PROGRAM-  
VARE FOR  
DRENERINGSANALYSE  
OG UTFORMING

Programvare for utforming av drenssystemer kan brukes til å planlegge drenssystemer som omfatter permeable dekker av betongstein. Dette gjør det mulig å modellere og teste hele drenssystemets funksjon og konsekvensene for det permeable dekket av å tilfredsstille alle krav til dimensjoneringen. Normalt inneholder programvarepakker en rekke fremgangsmåter for modellering av nedbør og overflateavrenning, men den mest vanlige metoden er basert på 'Wallingford Procedure'. Den enkleste tilnærmingsmåten er å anse det permeable dekket som en infiltrasjons- eller lagringsmekanisme som tar i betraktning følgende faktorer:

- Lagringsvolum i det permeable fundamentet
- Infiltrasjonsrate eller innskrenket avløpsmengde.

Infiltrasjonsraten kan fastsettes ved hjelp av metoden som er beskrevet i CIRIA Rapport 156 (CIRIA, 1996). For større anlegg, de som enten er formet som terrasser eller som er horisontale, anbefales det å bruke programvare for å sikre at hele systemet vil fungere som forutsatt, og at den tilgjengelige lagringskapasiteten brukes optimalt.

En annen tilnærmingstype er å betrakte det permeable dekket som et underordnet oppsamlingssystem som sørger for en hydrograf til bruk i nettverksmodellen. Enkel massebalanse og forenklete ligninger kan brukes til å modellere vannets bevegelse inn i og ut av det permeable fundamentet. Andre faktorer som kan tas i betraktning omfatter:

- Fordampning
- Innledende tap gjennom overflateavrenning
- Dirigering av overflateavrenning

### 6.2.11 OVERFØRING AV VANN TIL AVLØP

I et fordrøyningsystem som System C, må vannet renne horisontalt gjennom det permeable fundamentet mot et avløp. I mange utforminger er det permeable fundamentet utformet som atskilte områder under det permeable dekket, atskilt av en tett membran. Vannstrømmene mellom de ulike delene av det permeable fundamentet må vurderes nøye for å sikre at vannet lagres på riktig område, og kan om nødvendig ledes til avløpet.

Vannet kan strømme mellom områdene ved hjelp av rør, i lukkede basseng eller i et lag av grove steinmaterialer. Vannet kan også strømme langs områder med permeabelt fundament. Det bør være tilstrekkelig kapasitet i rør, magasiner eller fundament til å lede vannet til utløp(ene). På horisontale anlegg er det som regel mulig å bruke et begrenset antall tiltak for å sikre at lagringen i hvert område av fundamentet optimaliseres. I dette tilfelle er hovedhensynet å sikre at alle elementer (rør, fundament, osv) har tilstrekkelig kapasitet til å drenere området uten begrensninger som vil øke mengde av vann som lagres. På anlegg i hellende terreng kreves det vanligvis et større antall tiltak for å holde vannet på riktig lagringssted.

### 6.2.12 EKSEMPEL PÅ UTFORMING AV LAGRINGSMETODER

Et omfattende eksempel på utforming er inntatt i vedlegg 1.

### 6.3 STRUKTURELL DIMENSJONERING

Ett av de positive trekkene ved permeable dekker er at materialene som anvendes under overflatelaget for å holde på eller kanalisere vannet, er nøyaktig de samme materialene som brukes under overflatelaget for å gi styrke til dekket, og derved gjør det mulig for permeable dekker å tåle trafikkbelastning. Mange ingeniører integrerer den hydrauliske i den strukturelle utformingen for å etablere en konstruksjon hvor alle komponentene bidrar til dets hydrauliske og strukturelle formål.

I dette kapitlet beskrives Interpaves strukturelle designmetode slik at tykkelse og egenskaper av alle materialene som inngår i konstruksjonen kan velges og spesifiseres. Den avviker fra den strukturelle utformingsmetoden som er angitt i SUDS-manualen, som var basert på den tidligere 4. utgave av denne veiledningen, og er gjort mer brukervennlig. Følgelig representerer denne veiledningen de siste strukturelle utformingsmetoder for permeable dekker, og går foran tidligere metoder. Denne seksjonen danner dessuten grunnlaget for BS 7533-13:2009, Veiledning for utforming av permeable dekker bygget av betongstein og heller av betong, plater av naturstein og gatestein og teglstein – som kun gjelder strukturell utforming.

#### Typiske komponenter i et permeabelt dekke av betongstein er:

##### BETONGSTEIN

Overflatelaget omfatter betongstein fremstilt for permeable dekker. Denne steinen lar vannet trenge inn fra overflaten enten ved bruk av overdimensjonerte avstandsknaster eller spesielle utforminger som skaper avstander til tiliggende stein.

##### SETTELAGET

Betongsteinen legges på settelaget, som vanligvis består av materiale som kan passere gjennom en 6.3 mm sikt og som oftest fanges opp av en 3 mm sikt.

##### FUNDAMENT AV ASFALTBETONG

Dersom det vil forekomme trafikk på det permeable fundamentet under anleggsperioden, må det legges et lag av asfaltert grus, som perforeres med 750 mm hullavstand. Dette vil forebygge forurensning av materialene i konstruksjonen, selv om også andre metoder kan brukes for å oppnå dette: se Seksjon 6.3.5.

##### PERMEABELT FORSTERKNINGSLAG

Det viktigste laget med hydraulisk funksjon består av grove steinmasser (CGA) med kornstørrelse mellom 5 og 22 mm. Dersom det gjelder permeable dekker med tyngre trafikk, inkluderes et lag med hydraulisk bundet grov steinmasse, i tillegg til eller i stedet for CGA, for å styrke og stive opp dekket.

|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NEDRE FORSTERKNINGSLAG                         | Når det gjelder System C -dekker, dvs. hvor vannet holdes innenfor konstruksjonen, legges nedre forsterkningslag under en tett membran for å oppnå en fast arbeidsplattform slik at de overliggende lagene kan installeres på en korrekt måte. Dessuten må det fungere som en beskyttelse av den tette membranen mot skade og punktering, og det kan bli nødvendig å tette overflaten til materialet i grunnen. De to anbefalte materialene er enten 6F1 (finkornet materiale) eller 6F2 (grovt materiale) som definert i Tabell 6/1 i Highways Agencys 'Specification for Highway Works – Series 600 – Earthworks'. Når det gjelder 6F2 materialer, kan det bli nødvendig å tette til overflaten med finkornet materiale for å beskytte den overliggende tette membranen. |
| TETT MEMBRAN                                   | System C- dekker inkluderer en tett membran som holder på alt vannet som trenger inn i konstruksjonen og som oppbevares der.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| GEOTEKSTIL                                     | Geotekstiler kan legges inne i dekket: se Kapittel 7.8.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 6.3.1 DIMENSJONERINGS-<br>PROSESSEN            | <p>Dimensjoneringsprosessen omfatter fire trinn:</p> <p><b>Trinn 1</b><br/>Tabell 7 brukes til å velge belastningskategori, fra 1 til 6.</p> <p><b>Trinn 2</b><br/>Bruk dimensjoneringsfiguren vist i Figur 23 når det gjelder System A &amp; B permeable dekker, og Figur 24 når det gjelder System C -dekker, for å fastsette tykkelsen på konstruksjonens ulike lag.</p> <p><b>Trinn 3</b><br/>Dersom materialet i grunnen har CBR under 5%, skal overbygningstykkelsen justeres ved hjelp av Tabell 8. Merk at dimensjonering av System C -dekker (detensjon) er basert på CBR ved optimalt vanninnhold, mens infiltrasjonsdekker bygget etter System A og System B skal dimensjoneres for CBR etter vannlagring, jfr. Kapittel 7 av BS1377:1990:Del 4.</p>            |
| 6.3.2 TRINN 1 – VALG AV<br>BELASTNINGSKATEGORI | <p><b>Trinn 4</b><br/>Behovet for adkomst til prosjektet under anleggsperioden må vurderes. Materialer for bygging av permeable dekker må holdes rene under byggefasen. Dette kan bli et problem dersom bygge- metoden krever bygging av veier for tilgang til anlegget på et tidlig tidspunkt. Ulike metoder kan anvendes for å løse dette problemet: se Kapittel 6.3.5.</p> <p>Se Kapittel 7 for spesifikasjon av materialene som brukes i permeable dekker.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

I Tabell 7 er det angitt ekvivalente 8 tonns aksellaster. I Norge brukes ekvivalente 10 tonns aksellaster som dimensjoneringsgrunnlag. Omregning til 8,0 tonns ekvivalente aksellaster kan gjøres ved å multiplisere verdiene i det norske systemet med faktoren 2,44

I Norge er dessuten 20 års dimensjonerings-periode mest vanlig.

I Norge brukes normalt ikke belastningskategori 1 og 2. Selv fortau og gangveier blir ofte utsatt for tyngre kjøretøy/maskiner f.eks. i forbindelse med vinterdriften.

Tabell 7 viser forskjellige bruksområder og hvilken belastningskategori de hører under. Tabellen viser dessuten høyeste antall ekvivalente 8.0 tonns aksellaster for hver belastningskategori basert på forutsetningen om at dekkene er dimensjonert for 25 års levetid med trafikkbelastning. Bruk kunnskapen om enten antall ekvivalente 8.0 tonns aksellaster eller dekkets tiltenkte bruk, og velg én av kategoriene fra 1 til 6. Merk at det er betydelig forskjell mellom belastningskategori 2 og 3.

| 1<br>PRIVAT-<br>PARKER-<br>ING       | 2<br>BIL                                   | 3<br>FOT-<br>GJENGER                                   | 4<br>HANDEL                                            | 5<br>KOMMER-<br>SIELT               | 6<br>TUNG-<br>TRAFIKK                   |
|--------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| Ingen tunge kjøretøy                 | Kun tunge kjøretøy i nødoppdrag            | Ett tungt nyttekjøretøy per uke                        | Ti tunge kjøretøy per uke                              | 100 tunge kjøretøy per uke          | 1000 tunge kjøretøy per uke             |
| <b>Ingen ekvivalente aksellaster</b> | <b>100 ekvivalente aksellaster</b>         | <b>0,015 msa</b>                                       | <b>0,15 msa</b>                                        | <b>1,5 msa</b>                      | <b>15 msa</b>                           |
| Patio                                | Parkeringsplasser for biler                | Gågate i byen                                          | Atkomstvei for vareleveranser til butikker             | Industriområde                      | Hovedvei                                |
| Privat innkjørsel                    | Jernbanestasjonsplattform                  | Inngang til barnehage                                  | Atkomstvei til skole/høyskole                          | Offentlig vei med lite trafikk      | Distribusjons-senter                    |
| Ut-smykning                          | Utendørs bilforhandler-utstilling          | Parkeringsområde for boligutbygging                    | Atkomstvei for forsyninger til kontorbygning           | Område med lettindustri             | Bussstasjon (buss hvert 5. minutt)      |
| Inngjerdet lekeplass                 | Gangsti til sportsstadion                  | Utvending utstillingsområde for hagesenter             | Leveranser til små boligfelt                           | Område med butikker og industri     | Stoppested på motorveien for lastebiler |
| Fotgjengerfelt uten trafikk-krysning | Fotgjengerfelt med tidvis trafikk-krysning | Gravplass Krematorium                                  | Atkomstvei for vareleveranser til hagesenter           | Åpen plass i byen                   | Busstopp                                |
|                                      | Privat innkjørsel/fotgjenger-overgang      | Motellparkering                                        | Uteområde på brannstasjon                              | Gangsti som regelmessig kjøres over | Rundkjøring                             |
|                                      |                                            | Parkeringsplass ved flyplass med bussrute til terminal | Parkeringsplass ved flyplass med bussrute til terminal | Veier ved flyplass                  | Bussfil                                 |
|                                      |                                            | Sportsarena                                            | Atkomstvei/forgård for sportsstadion                   |                                     |                                         |

**Tabell 7:** Belastningskategorier.

**Merk:** msa = millioner ekvivalente 8.0 tonns aksellaster.

### 6.3.3 TRINN 2 – VALG AV MATERIALER OG TYKKELSER FOR DEKKETS FUNDAMENT

et hydraulisk bundet bærelag, mens konstruksjoner som havner i belastningskategoriene 1 og 2 kun krever ubundne materialer. Følgelig, dersom man er i tvil om man skal velge 2 eller 3, er det tryggest å velge 3.

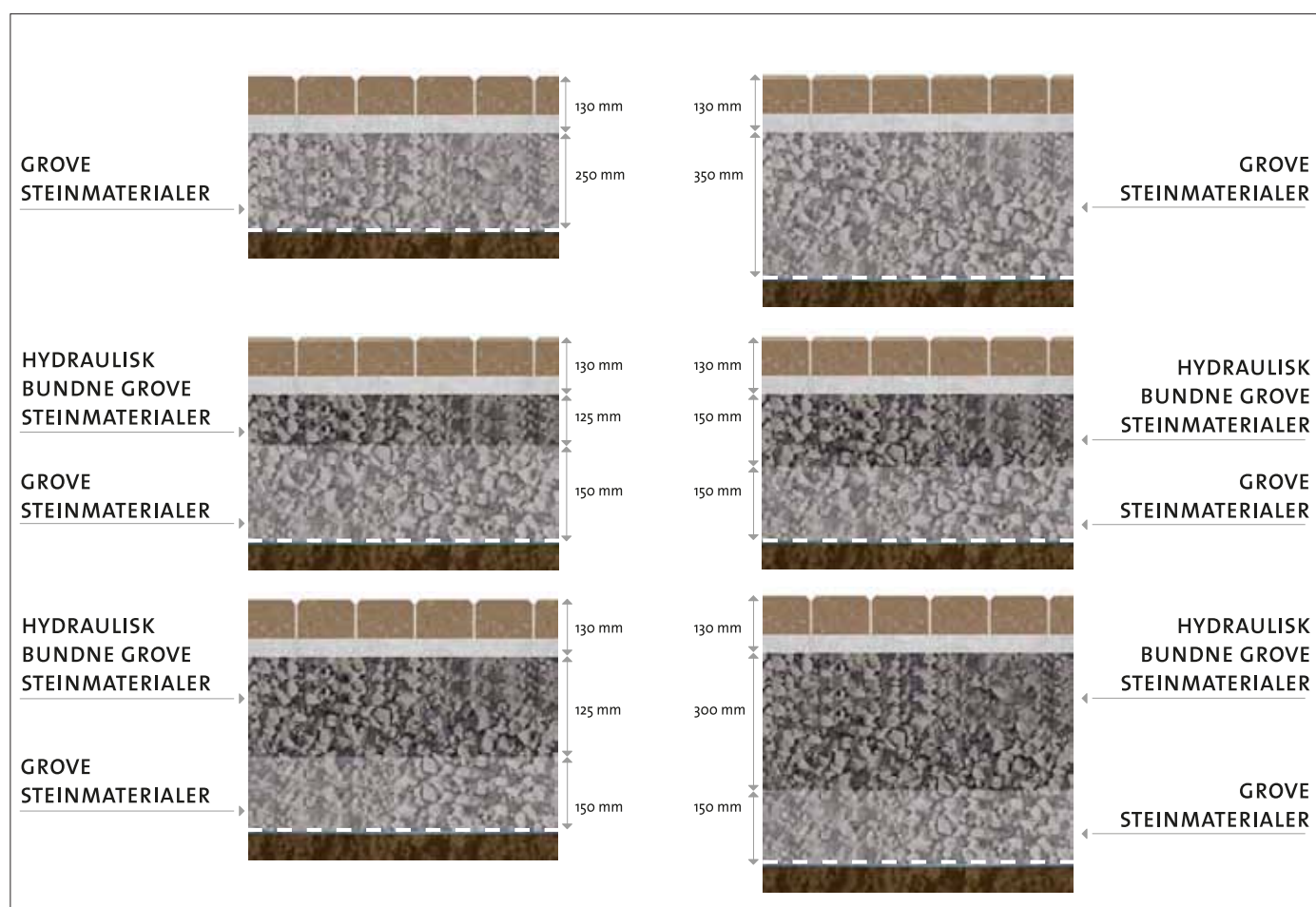
Bruk enten Figur 23 eller Figur 24 til å velge tykkelse og materialtyper for dekkets fundament, avhengig av om konstruksjonen hører under System A eller B (hel eller delvis infiltrasjon) eller System C (detensjon eller i basseng). Merk at figurene gjelder for materier i grunnen med  $\text{CBR} \geq 5\%$ . CBR bør være den laveste verdien som undergrunnen kan forventes å oppnå i løpet av konstruksjonens levetid. Når det gjelder konstruksjoner bygget i henhold til System C (detensjon eller i basseng) hvor vannet holdes tilbake innenfor dekket, vil dette normalt være CBR ved optimalt vanninnhold, og når det gjelder System A og System B, infiltrasjonsdekker, vil dette være CBR etter vannlagring.

## DIMENSJONERINGSFIGUR SYSTEM A & B

### Tegnforklaring:

Geotekstil - - - - -

(øvre geotekstil er valgfri, anbefales ikke i Norge)



**Figur 23:** Dimensjoneringsfigur over permeable dekker i henhold til System A og B (infiltrasjon) (på undergrunnsmaterialer  $\geq 5\%$  CBR etter vannlagring).

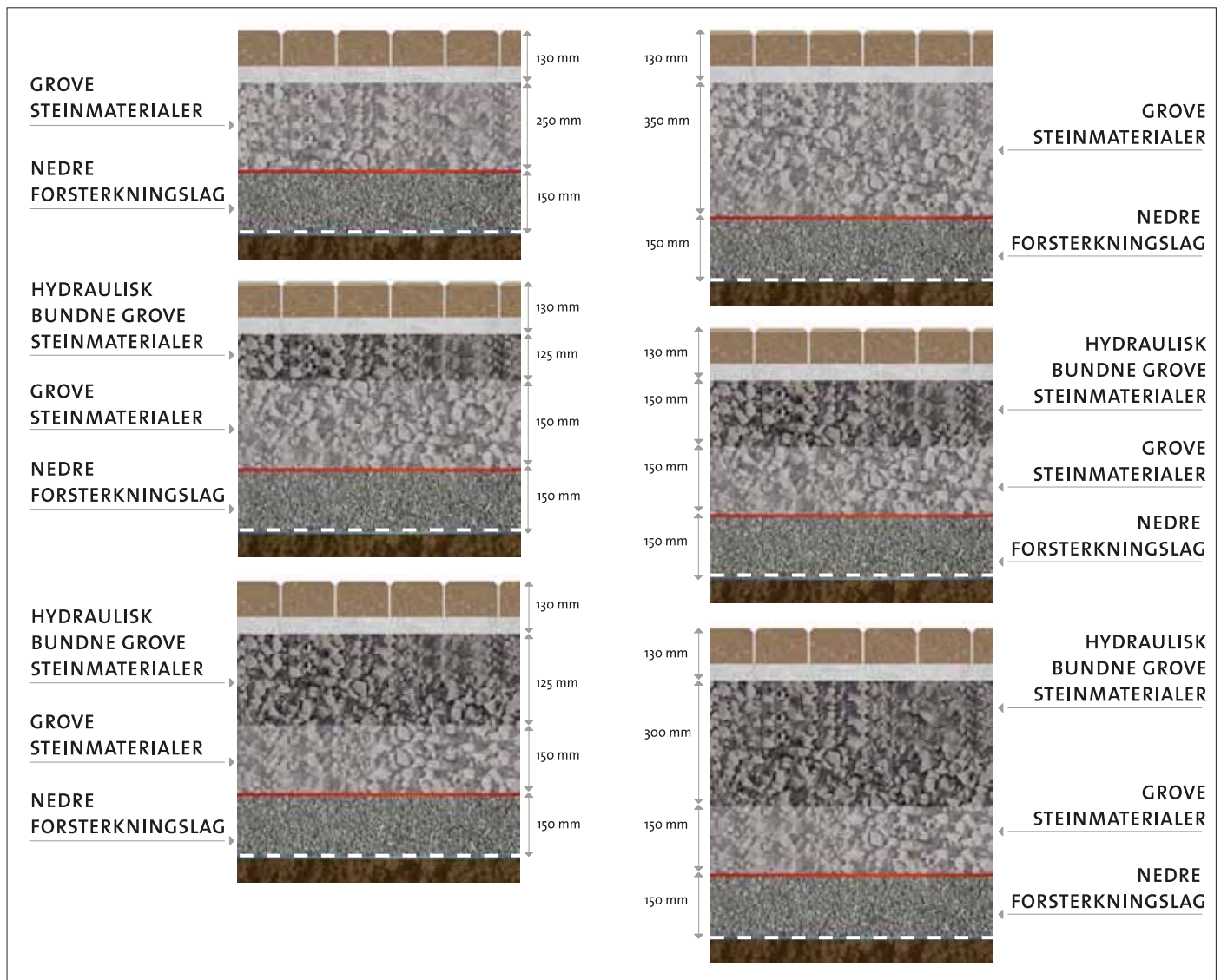
## DIMENSJONERINGSFIGUR SYSTEM C

### Tegnforklaring:

Tett membran —————

Geotekstil - - - - -

(øvre geotekstil er valgfri, anbefales ikke i Norge)



**Figur 24:** Dimensjoneringsfigurer for permeable dekker i henhold til System C (undergrunnsmateriale CBR  $\geq 5\%$  ved optimalt vanninnhold)

Når det gjelder overbygning etter System C, viser Figur 24 hvor den tette membranen skal legges. Det er viktig at den tette membranen legges over materialene som kan skades dersom de blir overmettet med vann. Dette innebærer at den tette membranen

må legges i grensesnittet mellom det grove steinmaterialet og nedre forsterkningslag. Den tette membranen føres til like under overflaten på konstruksjonens ytterkant for å maksimere konstruksjonens oppsamlingsvolum.

Infiltrasjonsdekker etter System A og System B inneholder ingen tett membran, men har derimot geotekstil som et skille i grenseflaten mellom det grove steinmaterialet og underlaget. Geotekstilen føres i dette tilfellet ikke til overflaten ved konstruksjonens ytterkant.

#### 6.3.4 TRINN 3 – JUSTERING AV KONSTRUKSJONER VED LAVE CBR-VERDIER FOR MATERIALET I GRUNNEN

Skissene i Figur 23 og 24 gjelder for materialer i grunnen med  $\text{CBR} \geq 5\%$ . Dersom CBR-verdiene er lavere, må tykkelsene justeres. For System C- konstruksjoner vil justeringen bestå i å øke tykkelsen på forsterkningslaget. Når det gjelder infiltrasjonskonstruksjoner etter System A og System B, kan disse på grunn av de fuktige forholdene styrkes ved å øke tykkelsen på ubundne grove steinmaterialer –materialer som inneholder finstoff av betydning kan ikke brukes hvor det finnes vann. Merk at i mange tilfeller er det at CBR er mindre enn 5% en indikasjon på at materialet kan være så finkornet at infiltrasjon i grunnen ikke fungerer, noe som innebærer at verken System A eller B kan brukes.

| CBR for undergrunnsmaterialet | Justering av tykkelse på forsterkningslaget for konstruksjoner etter System A og System B, (mm) † | Total tykkelse på forsterkningslag for konstruksjoner etter System C (mm) |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1%                            | +300**                                                                                            | 600*                                                                      |
| 2%                            | +175"                                                                                             | 350                                                                       |
| 3%                            | +125"                                                                                             | 250                                                                       |
| 4%                            | +100"                                                                                             | 200                                                                       |
| 5%                            | Bruk tykkelsen angitt i Figur 23                                                                  |                                                                           |
| 8%                            |                                                                                                   | 150                                                                       |
| 10%                           |                                                                                                   |                                                                           |
| 15%                           |                                                                                                   |                                                                           |

**Tabell 8:** Justering på grunn av lav CBR for materialet i grunnen.

**Merk:** \*En bør rådføre seg med eksperter dersom konstruksjoner skal etableres på materialer med CBR mindre enn 2%. Materialer med CBR mindre enn 5% er ofte for finkornet til å sørge for tilstrekkelig infiltrasjon.

† Merk at verdiene for ytterligere tilførsel av grove steinmaterialer i denne kolonnen kan brukes for System C- bygde konstruksjoner, i stedet for den totale tykkelsen på nedre forsterkningslag som er vist i høyre kolonne.

Økningen av tykkelsen på nedre forsterkningslag som må gjennomføres når materialet i grunnen har lav CBR-verdi, kan under planleggingsprosessen kun fastsettes anslagsvis ettersom underlagets beskaffenhet avhenger av dreneringsforholdene på stedet, vannspeilnivåene og senere tids nedbørsmønster. Formålet er å sørge for tilstrekkelig tilleggsmateriale til å sikre en vellykket komprimering av de overliggende lagene. Tabell 8 viser verdiene som er funnet å være tilstrekkelig for å oppnå dette, men faktisk tykkelse må fastsettes ved hjelp av tester gjennomført under anleggsarbeidet av erfarne anleggsarbeidere.

#### 6.3.5 TRINN 4 – BESKYTTELSE MOT ANLEGGSTRAFIKK

**Dette trinnet bør legges til dersom den permeable konstruksjonen vil bli utsatt for anleggstrafikk.** Det oppstår ofte behov for midlertidig bruk av veier og områder med faste overflater i anleggsperioden. Sølen som genereres vil selvsagt tette til det permeable forsterkningslaget av ensgraderte steinmaterialer. Det finnes flere løsninger på dette problemet, inklusive:

- For System C anlegges nedre forsterkningslag, som kan brukes til midlertidig veidekke. Anlegg den permeable konstruksjonen over dette mot slutten av anleggsperioden.
- Anlegg det permeable forsterkningslaget og dekk det deretter til med et midlertidig lag av geotekstil og pukk/kult (minst 100 mm tykt). Dette brukes som midlertidig veidekke. Mot slutten av anleggsperioden fjernes det midlertidige laget, evt. sementstabilisert lag anlegges, og deretter legges settelaget og steinen.
- Vurder byggeprosessen under planleggingsfasen og identifiser områder hvor anleggstrafikk og annen trafikk ikke er tillatt. Bruk konvensjonell overbygning for områder med anleggstrafikk og permeabelt dekke for øvrige deler.
- Anlegg det permeable forsterkningslaget og dekk det så til med et lag av asfaltert grus. Bruk dette som midlertidig veidekke.

#### 6.3.6 TETT ASFALT

Det tette laget av asfaltert grus bør etableres i henhold til BS4987-2:203 «Belagt macadam (asfaltbetong) for veier og steinbelagte områder – Del 2: Spesifikasjon for transport, legging og komprimering.» Erfaring har vist at det er enklere å manøvrere en beltegående asfaltutlegger enn en hjulgående asfaltutlegger på et «ubundet» permeabelt underlag.

Ved å lage et mønster av huller med en diameter på 75 mm gjennom dette materialet med hullavstand 750 mm like før utleggingen av det permeable laget av stein, omgjøres konstruksjonen

til en permeabel konstruksjon. Asfaltlaget vil fortsatt være på plass gjennom hele dekkets levetid. For belastnings-kategoriene 3, 4, 5 og 6 kan laget av asfaltert grus erstatte en del av eller hele det hydraulisk bundne laget av grove steinmaterialer, men minimum tykkelse på gjenværende lag av hydraulisk bundne grove steinmaterialer må ikke være mindre enn 125 mm. Ettersom asfalt ikke har evne til å lagre vann, vil det være nødvendig å sjekke at gjenværende permeable lag har tilstrekkelig vannlagringsevne.

For belastningskategoriene 1 og 2 kommer asfaltlaget i tillegg til de ubundne grove steinmaterialene.

Tykkelsen av asfaltlaget avhenger av antall ekvivalente 8.0 tonns aksellaster som vil påføres av trafikken (anleggstrafikken og av trafikken etter ferdigstilling). Følgende verdier kan anvendes for anleggstrafikken. De er tatt fra Figur 2 i BS7533-1:2001 *Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. – Part 1: Guide for the structural design of heavy duty pavements constructed of clay pavers or precast concrete paving blocks:*

|                                                             |                              |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Inntil 20 boliger:                                          | 200 ekvivalente aksellaster  |
| Inntil 50 boliger eller 5.000 m <sup>2</sup> næringsområde: | 500 ekvivalente aksellaster  |
| Inntil 80 boliger eller 8.000 m <sup>2</sup> næringsområde: | 1000 ekvivalente aksellaster |
| Stor utbygging                                              | 5000 ekvivalente aksellaster |

I tillegg kommer trafikken som er angitt i Tabell 7. For eksempel, dersom prosjektet gjelder utbygging av en næringspark på 8.000 m<sup>2</sup> med en belastningskategori på 3 fra Tabell 7, er totalt antall ekvivalente aksellaster som asfaltlaget skal dimensjoneres for, 1.000 + 15.000 = 16.000.

Nødvendig tykkelse på asfaltert grus er tatt fra Figur 3 i BS7533-1:2001 *Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. – Guide for the structural design of heavy duty pavements constructed of clay pavers or precast concrete paving blocks* og er vist i Tabell 9.

| Total trafikk<br>(Anlegg og i dimensjoneringsperioden)<br>(Kumulative ekvivalente 8,0 tonns) | Tykkelse på tett asfalt (mm) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Inntil 1,5                                                                                   | +300*"                       |
| 1,5 til 4,0                                                                                  | +175"                        |
| 4,0 til 8,0                                                                                  | +125"                        |
| 8,0 til 12,0                                                                                 | +100"                        |

**Tabell 9:** Tykkelse av asfaltert grus for permeable dekker beregnet på anleggstrafikk.

## 7. SPESIFIKASJON OG MATERIALER

### 7.1 BELEGNINGSSTEIN

NS-EN 1338

Belegningsstein av betong - Krav og prøvingsmetoder

Toppdekket skal ha betongstein fabrikkert av et medlem av Interpave, i henhold til BSEN1338:2003 – *Concrete paving blocks. Requirements and test methods*. Steinen skal være fremstilt og markedsført for permeable dekker. Opprinnelig ble 80 mm tykk stein brukt for alle typer av permeable dekker av betongstein, men nå finnes det tynnere stein som er egnet for spesifikk belastning og anvendelse. Man bør rådføre seg med betongsteinens fabrikant for å velge riktig tykkelse på stein for de konkrete bruksområder.

### 7.2 SETTELAG OG FUGEMATERIALE

NS-EN 13242

Tilslag for mekanisk stabiliserte og hydraulisk stabiliserte materialer til bruk i bygg- og anleggsarbeid og vegbygging.

Siktene i BS-EN 13242 brukes ikke i Norge.

**I Norge brukes:**

16,0 mm  
11,2 mm  
8,0 mm  
5,6 mm  
4,0 mm  
2,0 mm  
etc.

Settelagsmaterialet må være tilstrekkelig grovt til å muliggjøre fri vertikal strømming av vannet samtidig som det hindres fra inntrengning i den underliggende grove fyllmassen, og likevel tilstrekkelig fint for korrekt legging av betongsteinen. Settelaget og fugematerialet bør falle innenfor grensekurvene angitt i Tabell 10, men man bør rådføre seg med fabrikanten av steinen vedr. grovheten som egner seg for deres produkter og/eller systemer. Materialet bør oppfylle kravene til materialer av type 2/6,3 Gc 80/20 i henhold til BS EN 13242:2002. *Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction*, som vist i Tabell 12. Merk at betegnelsen 2/6,3 betyr at materialets kornstørrelse i hovedsak er innenfor området 2 mm til 6,3 mm. Det er på denne måten steinmasser, inklusive finkornede steinmasser, spesifiseres i BS EN 13242:2002, hvor det heter: *Denne benevnelsen aksepterer at det gjenstår enkelte partikler øverst i sikten (overstørrelser) og enkelte som passerer gjennom den nederste sikten (understørrelser)*, dvs. det finnes en liten andel partikler som er større enn 6,3 mm og mindre enn 2 mm.

| BS siktstørrelse (mm) | Prosent som passerer (%) |
|-----------------------|--------------------------|
| 14                    | 100                      |
| 10                    | 98-100                   |
| 6.3                   | 80-99                    |
| 2.0                   | 0-20                     |
| 1.0                   | 0-5                      |

**Tabell 10:** Typiske grensekurver for settelagsmaterialet.

### 7.2.1 FUGE- OG HULROMS-MATERIALE

Dette er oftest materialer som ligner på dem som brukes i sette-laget. Man bør rådføre seg med fabrikanten av betongsteinen om hvilken type materiale som egner seg for hvert steinsystem.

## 7.3 BÆRELAGET

I Norge vil sorteringen 4/22 være nærmest den som beskrives i denne veiledningen.

#### I Norge brukes følgende sikt:

45,0 mm  
31,5 mm  
22,4 mm  
16,0 mm  
11,2 mm  
8,0 mm  
5,6 mm  
4,0 mm  
2,0 mm  
etc.

Materialer i granulære bærelag bør falle innenfor grensekurvene i Tabell 11, men man bør rådføre seg med fabrikanten av steinen om hvilken type materiale som egner seg for deres produkter/systemer. CGA bør oppfylle kravene i BS EN 13242:2002 – *Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction*. Materialet bør benevnes Type 4/20 (4 mm øvre og 20 mm nedre siktstørrelse). Informasjon om disse steinmaterialenes tilgjengelighet og egnethet bør innhentes fra lokale leverandører.

For å være i stand til å tåle påkjenningene fra trafikk under tørre så vel som våte forhold, bør materialene i granulære bærelag oppfylle de fysiske kravene som er angitt i Tabell 12.

Materialet må ha tilstrekkelig intern stabilitet til å kunne oppfylle kravene både i anleggsperioden og på lang sikt. Generelt fungerer steinmaterialer av pukk tilfredsstillende, mens både knuste og naturlig avrundede grustyper kan være ustabile – muligens i bruksperioden og mest sannsynlig i anleggsperioden. Dersom et materiale holder seg stabilt under og etter utlegging (dette forutsetter at laget får trafikkbelastninger i anleggsperioden), er det sannsynlig at det også vil forholde seg stabilt når konstruksjonen er fullført.

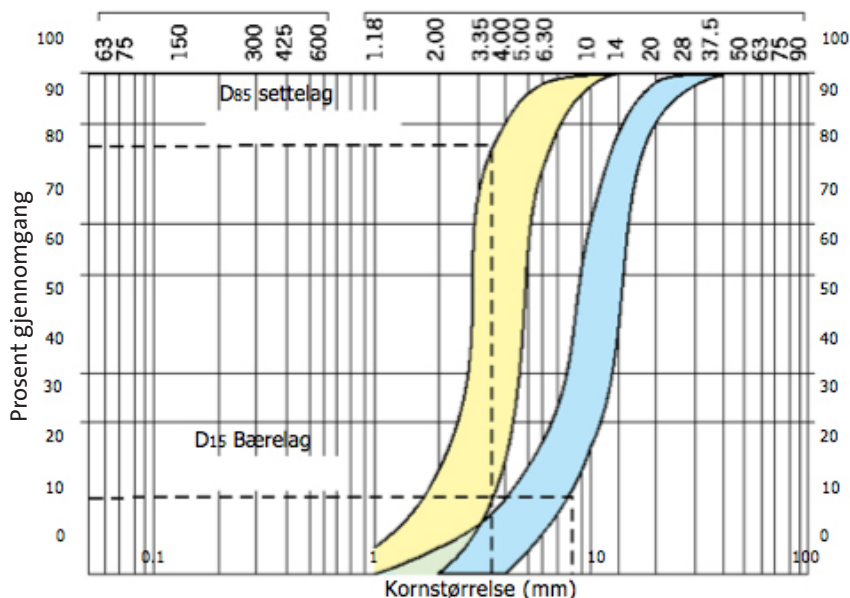
**Tabell 11:** Typiske grenser for kornfordelingen for Type 4/20 grove steinmaterialer.

| Siktstørrelse (mm) | Prosentvis passering (%) |
|--------------------|--------------------------|
| 40                 | 100                      |
| 31,5               | 98-100                   |
| 20                 | 90-99                    |
| 10                 | 25-70                    |
| 4                  | 0-15                     |
| 2                  | 0-5                      |

### 7.3.1 SETTELAGET OG FORSTERKNINGSLAGETS KOMPRIMERBARHET OG KORNGRADERING

Dersom det ikke er geotekstil mellom settelaget og bærelaget, må de to lagene oppfylle vanlige filterkriterier under settelaget for å hindre at det mer finkornede settelaget migrerer inn i bærelaget.

**Figur 25:** Kurve for filterkriterier for finkornet materiale



**Merk:** Siktstørrelsene i Figur 25 avviker delvis fra de som benyttes i Norge

Steinmassene bør oppfylle følgende kriterier:

$$\frac{D_{15}}{D_{85} \text{ settelaget}} \leq 5$$

Eksemplet som er vist i Figur 25 gir

$D_{15}$  bærelaget = 8,0 mm og  $D_{85}$  settelaget = 3,7 mm

$$\frac{8,0 \text{ mm}}{3,7 \text{ mm}} = 2,16 < 5, \text{ derfor OK}$$

I Norge benyttes filterkriterier som i tillegg til de som her er beskrevet, har andre krav, se Statens vegvesen Håndbok 018, pkt 521.2

Det anbefales å sjekke visuelt om partiklene i settelaget passer inn i hulrommene i bærelagsmaterialet uten infiltrasjon inn i bærelaget.

Hvor  $D_x$  er kornstørrelsen der x prosent av kornene er finere. For eksempel er  $D_{15}$  kornstørrelsen i en steinmasse der 15% av kornene er finere enn  $D$  og 85% er grovere. På kornkurven i Figur 25, er 15% finere enn  $D_{15} = 9$  mm.

Et materiale som oppfyller de anbefalte gjennomsnittlige grensekurver for settelaget og bærelaget i denne veiledningen, bør oppfylle disse kravene. En bør imidlertid alltid sjekke om materialene som planlegges brukt på et prosjekt er kompatible med hverandre.

NS-EN 13242 er standarden for tilslag til mekanisk stabiliserte og sementstabiliserte materialer, NS-EN 12620 er standarden for tilslag til betong

| Egenskaper                                                                                                                               | Kategori etter BS EN 13242 eller BS 12620                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Korngradering                                                                                                                            | 4/20 (foretrukket) eller 4/40, Gc 85 – 15, GTc 20/17.5                                                                                                           |
| Innhold av fine partikler                                                                                                                | $f_4$                                                                                                                                                            |
| Korn form (flisighetsindeks)                                                                                                             | $FI_{20}$                                                                                                                                                        |
| Los Angeles krav                                                                                                                         | $LA_{30}^*$                                                                                                                                                      |
| Motstand mot frysing og tining:<br>Vannabsorpsjon til<br>BS EN 1097-6:2000,<br>Klausul 7 – for $WA > 2\%$ ,<br>magnesiumsulfat soliditet | $WA_{24}2$<br>$MS_{18}$                                                                                                                                          |
| Slitestyrke Micro Deval                                                                                                                  | $M_{DE}20$                                                                                                                                                       |
| Syreløselig sulfatinnhold:<br>– andre fyllmasser enn luft-<br>avkjølt masovnslagg luftavkjølt<br>masovnslagg                             | $AS_{0.2}$<br>$AS_{1.0}$                                                                                                                                         |
| Totalt svovel:<br>– andre fyllmasser enn luft-<br>avkjølt masovnslagg<br>luftavkjølt masovnslagg                                         | $< 1\%$ (masseprosent)<br>$< 2\%$ (masseprosent)                                                                                                                 |
| Volumstabilitet for masovnslagg og<br>stålslagg:<br>luftavkjølt masovnslagg –<br>stålslagg                                               | Uten dikalsium silikat og jern<br>disintegrasjon i henhold til<br>BS EN 13242:2002, 6.4.2.2<br>$V_5$                                                             |
| Utvasking av forurensende stoffer                                                                                                        | Masovnslagg og andre gjenvinningsmaterialer bør oppfylle kravene i Environment Agency <i>Waste Acceptance Criteria</i> når de testes i henhold til BS EN 12457-3 |

**Tabell 12:** Krav til fysiske egenskaper for finpukk brukt i settelaget.

\* Materialenes motstand mot nedknusning vil avhenge av materialforekomsten. I enkelte tilfelle kan det være nødvendig å tillate en lavere LA-verdi på grunnlag av lokal erfaring.

### 7.4 SEMENTSTABILISERTE GROVE STEIN-MATERIALER

I Norge er det i de seinere år blitt mer vanlig å beskrive betong B 20 eller B 25 (basert på NS-EN 206) hvor det tidligere var beskrevet sementstabilisert grus.

Når det gjelder mer trafikkerte permeable dekker, skal det inkluderes et lag av sementbundne grove steinmaterialer for å stive opp dekket.

Materialet skal ha en kornkurve som ligger innenfor grensekurvene i Tabell 11 og skal oppfylle ett av følgende krav:

#### SEMENTBUNDNE BLANDINGER

BS EN 14227-1:2004. *Unbound and hydraulically bound mixtures. Specifications. Cement bound granular mixture.*

Minste sementinnhold i forhold til masse = 3%.

Styrkeklasse = C5/6 (Som definert i Tabell 2 av BS EN 14227-1:2004.)

Minimum permeabilitet 20.000 mm/time.

28-dagers elastisitetsmodul forventes å være cirka 10.000 N/mm<sup>2</sup>, men dette er ikke et spesifikasjonskrav.

### 7.5 ASFALTERT GRUS

For norske forhold anbefales det å bruke Ag 16 beskrevet i henhold til NS-EN 13108-1. Gjennomhulling er svært viktig.

DBM (bituminøst bærelag) bør være tett med kornfordelingen 0/32 mm som angitt i Kapittel 5.2 i BS4987-1:2005, *Coated macadam (asphalt concrete) for roads and other paved areas. Specification for constituent materials and for mixtures*. Normalt bør materialet være en DBM 50 i samsvar med punkt 4.7 i BS4987-1:2005. Merk at dette innebærer at materialet bør være utformet i henhold til punkt 929 i *Spesifikasjon for bygging av hovedveier: 2003 (Highways Agency)*. Etter gjennomhulling av DBM og før igangsetting av legging av laget med betongblokker, skal alt skrot og avfall fjernes og hullene i DBM skal fylles med grove steinmaterialer.

### 7.6 NEDRE FORSTERKNINGSLAG

I den engelske veiledningen benyttes betegnelsen Capping Layer. Dette er i denne oversettelsen omtalt som Nedre forsterkningslag.

I noen situasjoner ville begrepet «grunnforsterkning» slik dette er beskrevet i de norske vegnormaler, harmonere bedre med lagets funksjon.

Nedre forsterkningslag brukes for å oppnå en fast arbeidsplattform slik at de overliggende lagene kan legges på en korrekt måte. Normalt består forsterkningslaget av rimelige materialer som leveres lokalt og som er i stand til å oppnå en CBR-verdi på 15%. Alle materialene bør oppfylle kravene som stilles til enten 6F1 eller 6F2 i Tabell 6.1 i *Highways Agency's Spesifikasjon for bygging av hovedveier: – Serie 600 – Grunnarbeider*. Knust betong, kultlag og grovsikting fra steinbrudd brukes ofte som materiale i nedre forsterkningslag.

### 7.7 TETT MEMBRAN

Konstruksjoner etter System C (detensjon eller i basseng) inneholder en tett membran som fanger opp alt vannet som trenger inn i konstruksjonen, og holder på det.

Tette membraner leveres i tre kategorier:

#### **TETT MEMBRAN KATEGORI 1**

Dersom konsekvensene av en lokal svikt i den tette membranen er ubetydelige, kan polyetylen i 2000 gauge (0,5 mm) tykkelse med overlappende skjøter brukes.

#### **TETT MEMBRAN KATEGORI 2**

Dersom det er viktig at det ikke renner ut vann (for eksempel dersom forurensningen vil være uakseptabel), bør det spesifiseres et mer slitesterkt materiale: man bør rådføre seg med en spesialist.

#### **TETT MEMBRAN KATEGORI 3**

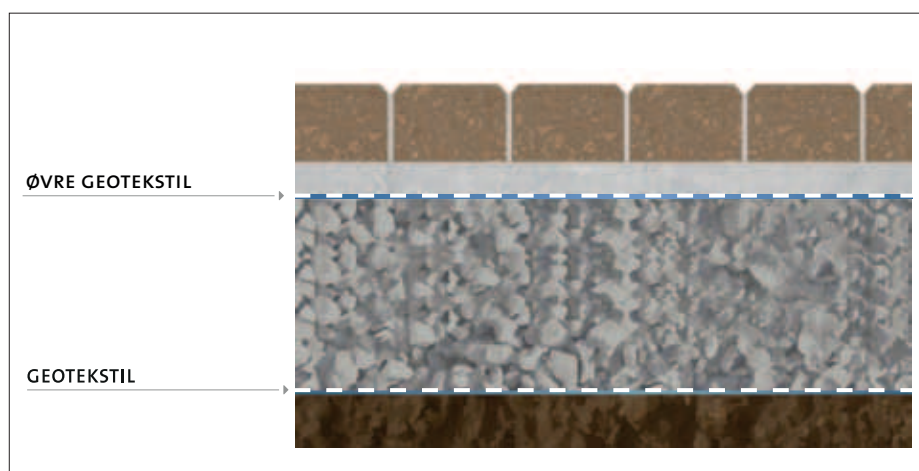
Dersom tette membraner installeres over bygninger som er i bruk (inklusive parkeringsanlegg), bør man rådføre seg med en spesialist.

### 7.8 GEOTEKSTILER

Geotekstiler kan legges på to nivåer hvor det er lagt permeable dekker av betongstein:

- Et valgfritt øvre geotekstil mellom settelaget og bærelaget dersom dette anbefales av fabrikanten av betongsteinen.
- Mellom nedre forsterkningslag og materialet i grunnen.

En rapport utarbeidet av The Environmental Protection Group Limited (EPG) vedrørende yteevnen av geotekstiler brukt i permeable dekker kan lastes ned fra [www.paving.org.uk](http://www.paving.org.uk)



**Figur 26:** Plassering av geotekstiler.

### 7.8.1 SÆRTREKK

Geotekstilet bør fungere som et filter og må installeres i samsvar med fabrikantens krav, og bør fremlegges for ingeniøren til godkjenning. Geotekstilet kan enten være et monofilament som er vevd; ikke vevd, men solid festet; eller nåleperforert ikke-vevd stoff. Geotekstilet bør være fremstilt av en passende polypropylen eller et polypropylenfilament som er i stand til å motstå naturlig forekommende kjemikalie- og mikrobeeffekter.

### 7.8.2 KVALITET

Geotekstiler til separasjons- og filterformål sertifiseres i Norge etter et felles nordisk system, NorGeoSpec, se [norgeospec.org](http://norgeospec.org)

Materialets egenskaper bør verifiseres i henhold til EN ISO 10319 ved både innen kvalitetssikring og ekstern kvalitetskontroll og -sikring gjennomført av etuavhengig laboratorium. Fremstillingen av geotekstilet skal være godkjent etter EN ISO 9001. Hver rull skal ha minst en identifikasjonsetikett med nummer og produkttype i henhold til EN ISO 10320, og være påført et CE-merke.

### 7.8.3 UTLEGGING

Tilstøtende ruller av geotekstil bør overlappes med minst 300 mm.

Alle kjøretøyer bør forhindres fra å kjøre direkte over materialet. Materialet bør beskyttes mot sollys.

## 8. DETALJER

Dette kapitlet tar for seg en del detaljer vedrørende en rekke typiske situasjoner for å illustrere de grunnleggende prinsippene som er involvert.

### 8.1 KANTSIKRING

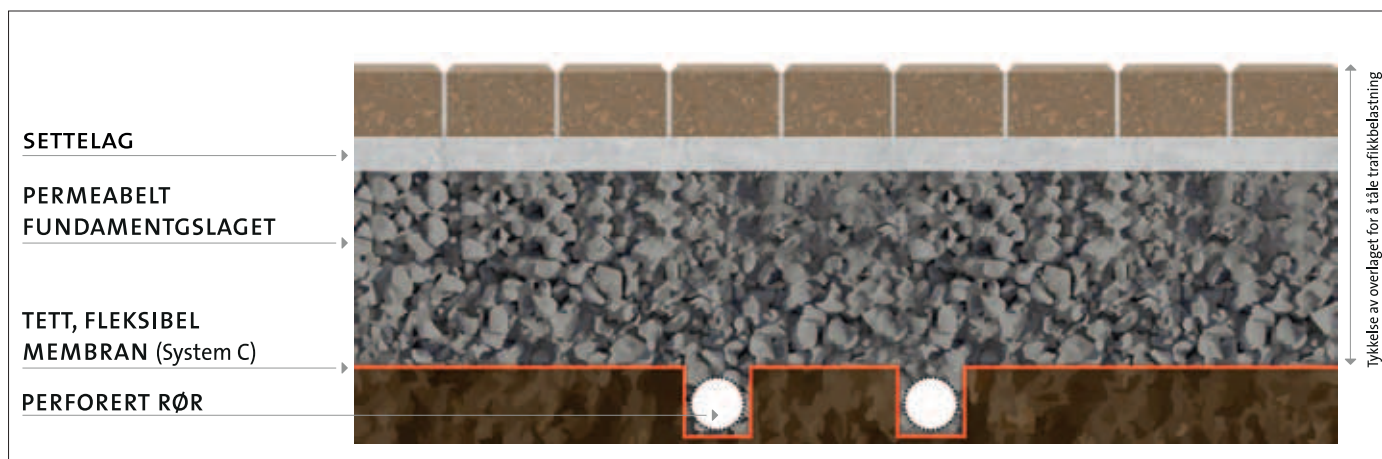
Som for konvensjonelle dekker av betongstein er det avgjørende å sørge for kantsikring, slik at det permeable dekket av betongstein fungerer som forutsatt.

Dersom det ikke etableres kantsikring kan steinen forskyve seg, skjøtene kan vides ut og tap av settelagsmateriale kan forårsake reduksjon av konstruksjonens bæreevne. Normalt består kantsikringen av kantstein av ferdigstøpt betongstein eller kantstein satt i jordfuktig betong. Videre veiledning om dette finnes på Interpaves nettsted.

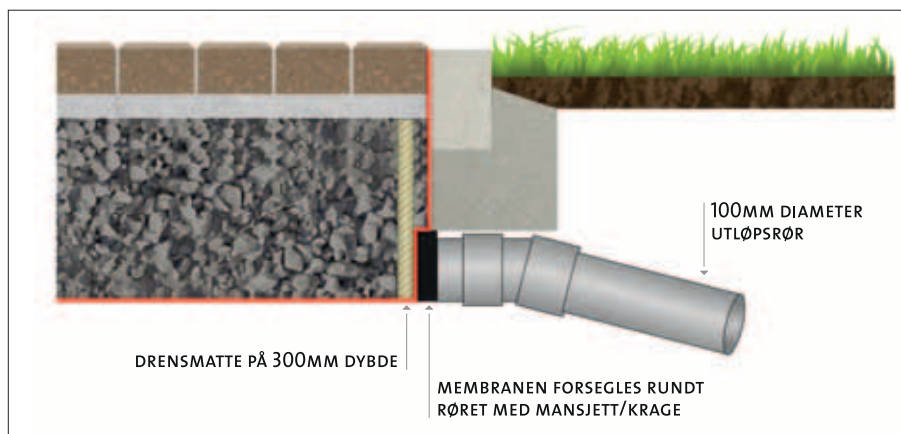
### 8.2 UTLØP OG OVERFØRING

System B- og C- konstruksjoner krever et avløp fra det permeable fundamentet som lar vannet drenere ut. Det er ulike metoder for vannoppsamling fra det permeable fundamentet.

Det permeable fundamentet kan mest effektivt tilkoples dreneringssystemene angitt i System B og C ved å bruke perforerte rør. Perforerte rør må ha tilstrekkelig overdekning for å kunne bære vekten av kjøretøy. Det kan være nødvendig å installere rørene i grøfter under det permeable fundamentet for å oppnå dette.



**Figur 27:** For større områder med permeabelt dekke kan det legges perforerte oppsamlingsrør i grøfter for å samle opp vannet.



**Figur 28:** Vannoppsamling med drensmatte.

### 8.2.1 AVSTANDER MELLOM UTLØPSRØR

**Merk:** Legg merke til at Q har to forskjellige betydninger i likningene på denne siden.

Det permeable fundamentets dreneringskapasitet og avstanden mellom utløpsrørene for System C kan evalueres med veiledning fra Cedergren (1974). Den maksimale avrenningsmengden som kan fjernes i et horisontalt permeabelt forsterkningslag beregnes som følger:

$$Q = k (h/b)^2$$

Hvor:

Q = vannmengde inn i dekket (m/s)

k = det permeable forsterkningslagets permeabilitetskoeffisient (m/s)

h = det permeable forsterkningslagets tykkelse over det tette underlaget (m)

b = halve avstanden mellom avløpsrørene (m)

For et planum med fall og usymmetriske avløpsledningsnett, kan vannstrømmen i det permeable forsterkningslaget beregnes ved hjelp av Darcy's Lov:

$$Q = Aki$$

Hvor:

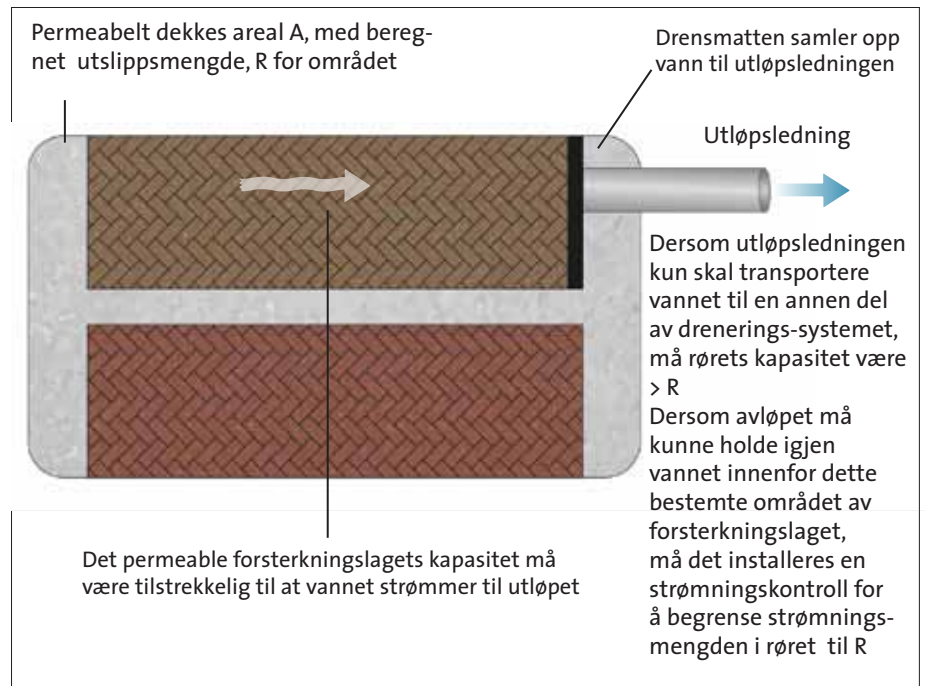
Q = det permeable forsterkningslagets kapasitet (m<sup>3</sup>/s)

A = arealet av det vertikale snittet av vannbassenget (m<sup>2</sup>)

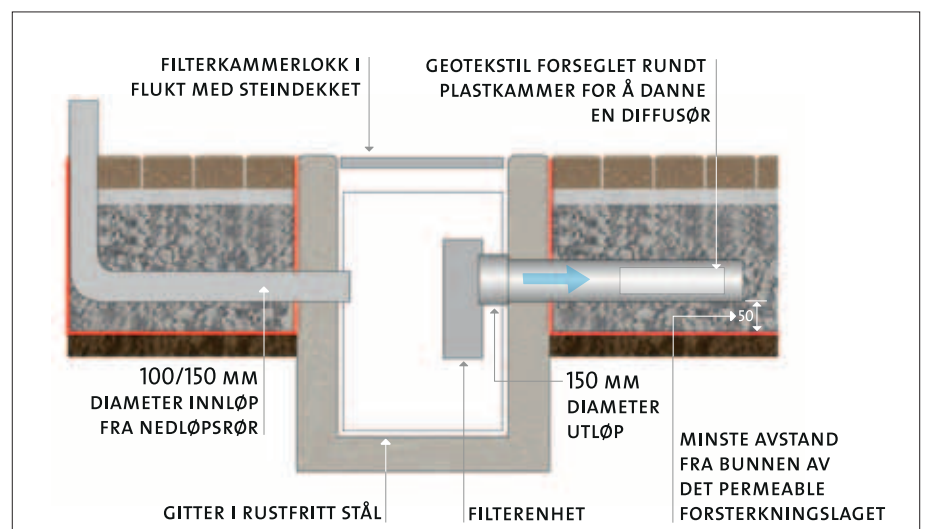
k = det permeable forsterkningslagets permeabilitetskoeffisient (m/s)

i = fallhøyde (forutsettes å være det samme som fall på planum – oftest en konservativ forutsetning).

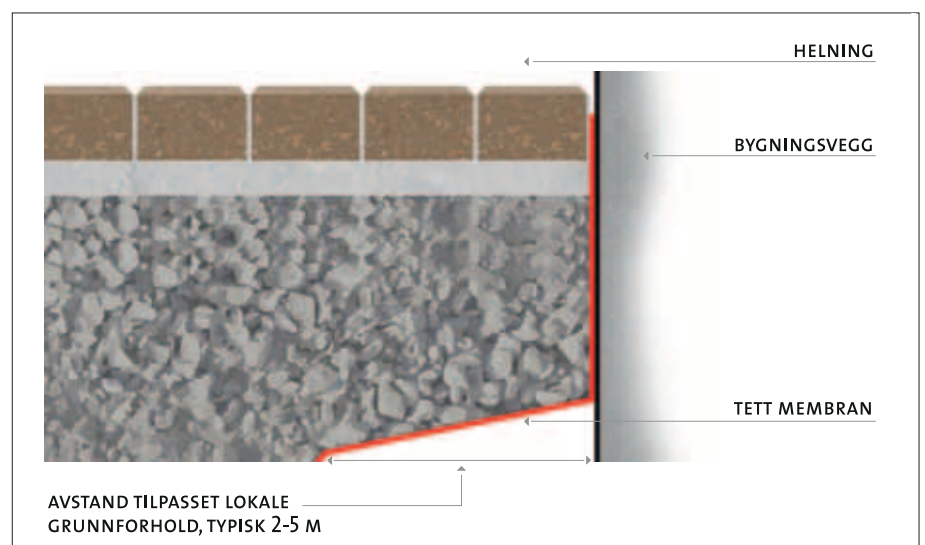
For mange prosjekter fastsettes avstandene mellom utløpene (ledninger eller drensmatter) vanligvis av byggeplanen og det permeable dekkets beliggenhet. Spørsmålet om maksimale avstander oppstår kun på større steinbelagte områder. Hvor det er individuelle utløpsledninger på atskilte steder (i stedet for en serie perforerte oppsamlingsrør) bør antall utløp planlegges slik at de sørger for tilstrekkelig drenering fra det permeable forsterkningslaget (Figur 29).



**Figur 29:** Dreneringsprinsipper for det permeable forsterkningslaget.



**Figur 30:** Typisk takdreneringsutløp.



**Figur 31:** Typisk bygningsfundament.

### 8.3 INNLØP FRA TAKDRENERING

**Merk:** Betegnelsen "minisandfang" er benyttet – i originalteksten er syphonic benyttet for å indikere at det er en hevert i systemet. Løsningen er i England beskrevet som en skandinavisk løsning som i de seinere år er tatt i bruk i England.

Vannet som strømmer ut fra nedløpsrøret bør ledes bort fra bygningen slik at det ikke skyller bort fugesanden mellom steinene. Dette kan oppnås ved å legge betongheller der takvannet renner ut. Denne metoden er mer fordelaktig enn systemer som går direkte ned i fundamentet, fordi det sparer vedlikehold av kumlokk-forbindelser/filtre. En tett membran kan installeres under det permeable forsterkningslaget for å hindre vanninfiltrasjon i nærheten av fundamentet. Denne vil typisk dekke fra 2 m til 5 m, avhengig av grunnforholdene og risikoen for at vannet skal skade fundamentet. Detaljtegning i Figur 31.

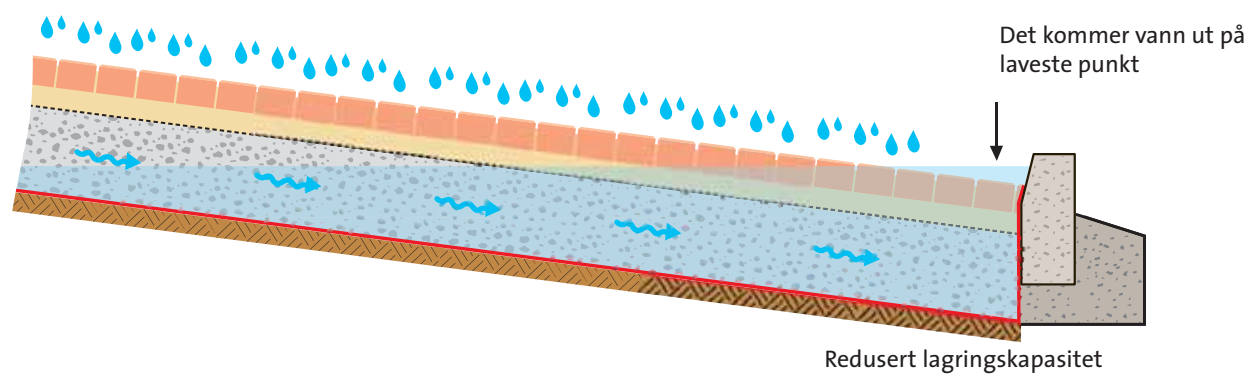
Takdrenering med minisandfang kan også tilkoples konstruksjoner med permeable dekker, som vist i figur 30. Imidlertid fører denne type takdrenering store vannmengder inn i konstruksjonen, noe som medfører meget høye vannhastigheter. Derfor bør det installeres innløpsdiffusører som leder vannet inn i det permeable forsterkningslaget, slik at vannet ikke påvirker strømningsmengden. Det svarer seg å anbefale at grenrøret utformes og installeres av fagfolk.

### 8.4 ANLEGG MED HELNING

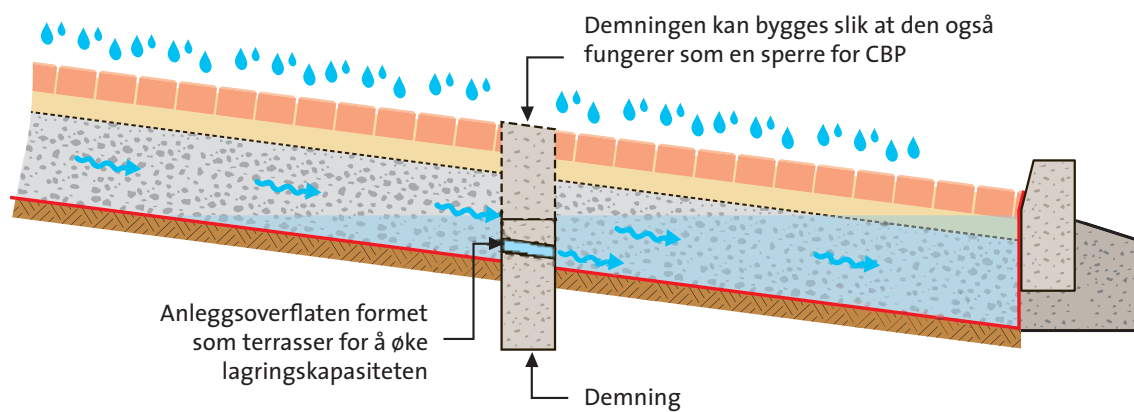
Det er som oftest vanskelig å unngå at det må bygges permeable dekker også på steder med skrånende terreng. På slike steder bør man ta forholdsregler for å forhindre at vannet i det permeable forsterkningslaget strømmer til og samler seg på det laveste punktet og derved reduserer lagringskapasiteten, se Kapittel 6.2.7. Maksimal helning på dekkets overflate bør være cirka 5% for alle typer for å hindre at vannet strømmer over overflaten og ikke trenger inn i fundamentet. Det finnes fire mulige løsninger på dette problemet:

- Installere demninger innenfor det permeable fundamentet med strømningskontroller for å sikre at vannet ikke strømmer direkte til det laveste punktet og siver ut på overflaten. Dette kan oppnås på ulike måter, inklusive med demninger av betong, membraner eller ved hjelp av seksjonering (Figur 32).
- Forme anlegget som terrasser for å danne områder med horisontale permeable dekker med separate lagringsområder i fundamentet.
- Bruk av plastkamre på anleggets laveste ende for å øke lagringskapasiteten.
- Tykkelsen på forsterkningslaget økes for å ta høyde for den reduserte lagringskapasiteten i øverste ende av helningen.

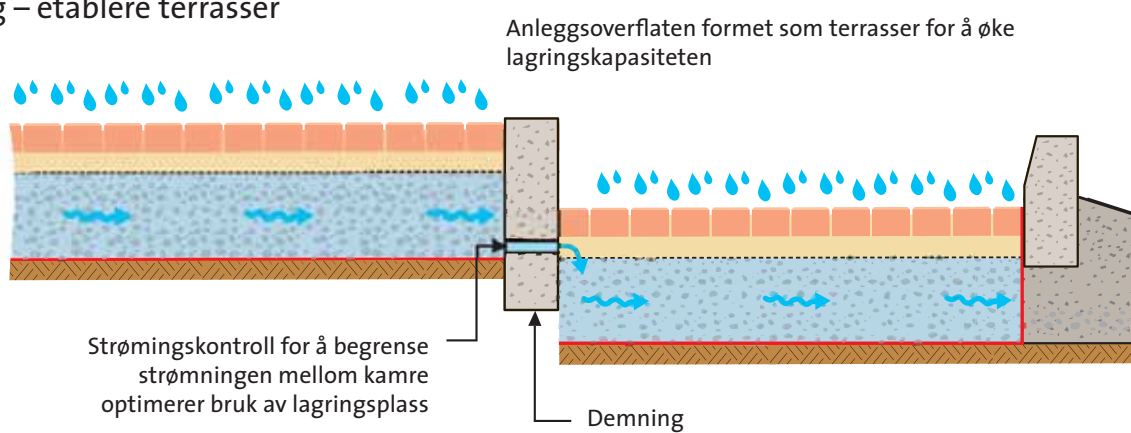
## Problem



## Løsning – demninger



## Løsning – etablere terrasser

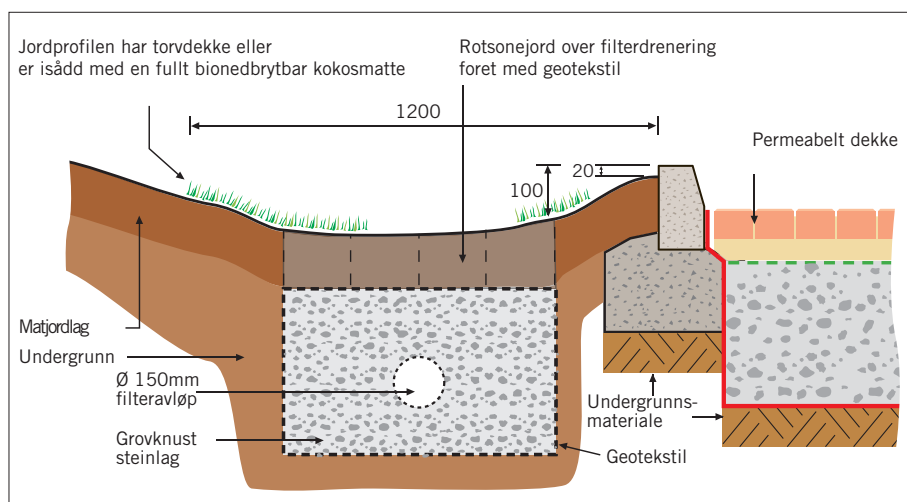


**Figur 32:** Løsninger for permeable dekker på prosjekter med helning.

Disse forholdsreglene må tas der det permeable forsterkningslaget brukes til fordrøyning av vann på anlegg med helning (inklusive eventuelle infiltrasjonssystemer – dvs. System A eller B). I alle tilfeller kreves det grundige analyser og detaljplanlegging for å sikre at vannet renner innenfor konstruksjonen som forutsatt og at det ikke oppstår uventede «fontener» i dekket. Nøyaktig utforming avhenger av anleggsområdet, utslippsgrenser, osv.

### 8.5 TERRENGTILPASNING

Terrengtilpasning bør utformes slik det ikke fører til at jordmasser og dekkmateriale vaskes inn i den permeable konstruksjonen og forårsaker tiltetting. Detaljutformningen av anleggets kantområde er særskilt viktig. En typisk løsning er vist i Figur 33.



Figur 33: typiske ytterkantdetaljer.

### 8.6 ATKOMSTKORRIDORER

Se Kapittel 5.4 for informasjon og detaljer relatert til håndtering av atkomsttrafikk.

## 9. BYGGING

### 9.1 FORHOLDSREGLER PÅ ANLEGGET

Forurensende stoffer som jord og slam må avledes og hindres i å trenge inn i fundamentet og dekkeoverflaten både under og etter byggeperioden slik at man kan få en konstruksjon som forblir permeabel gjennom hele dens beregnede levetid. Enkle rutiner som å holde tilsølte anleggsmaskiner og -materiell i sikker avstand fra området, installering av slamsperre, trinnvis utgraving og midlertidige dreneringsdiker som dirigerer overflateavrenningen bort fra området bør vurderes. For andre tiltak for å beskytte konstruksjonen under anleggsperioden samtidig som man ikke hindrer atkomsttrafikken, se Kapittel 6.3.5.

Vanligvis bør dekker av betongstein konstrueres i samsvar med BS 7533: Del 3: 2005, *Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. - Code of practice for laying precast concrete paving blocks and clay pavers for flexible pavements*. I samsvar med bransjestandardene tilrådes det at laget med betongstein skal være ferdig komprimert og fugene fylt innenfor én meter av leggekanten før arbeidsdagen avsluttes. Mer informasjon kan lastes ned fra Interpaves nettsted [www.paving.org.uk](http://www.paving.org.uk).

Der det er hensiktsmessig bør tilleggsinformasjon vedrørende bygging av permeable dekker innhentes fra fabrikantene av betongstein. En bør også rådføre seg med dem om produktspesifikke krav vedrørende materialer til legging og fylling av fuger, steinleggingsmønstre og fremgangsmåter for legging av steinen.



**Figur 34:** Maskinlegging av belegningsstein av betong er en effektiv løsning for både permeable og konvensjonelle steinbelagte konstruksjoner.

### 9.3 FUGEFORSEGLING

Om nødvendig tilbys fugeforseglingsmateriale som er spesielt laget for å stabilisere fugematerialet og for å sørge for infiltrasjon av alt overflatevannet, og det er kun disse forseglingstypene som bør brukes på permeable dekker. En bør alltid rådføre seg med fabrikanten av forseglingsmaterialet for å finne frem til riktig type og anvendelsesmetode. Det skal ikke brukes forseglingsmateriale for konvensjonell belegningsstein.

### 9.4 SETTELAG OG FYLLING AV FUGER

I Norge ansees settelag med tykkelse  $30 \pm 10$  mm å være optimalt i forhold til belegningens levetid og funksjonsegenskaper.

Settelagets konstruksjon er som for ordinære steindekker i samsvar med BS 7533 Del 3, men tykkelsen skal være 50 mm. På samme måte skal innbørstingen av fugematerialet også samsvare med denne standarden: det er avgjørende at fugene fylles helt opp.

### 9.5 BESKYTTELSE MOT ANLEGGSTRAFIKK

Se Kapittel 6.3.5 for alternative metoder, som omfatter bruk av et lag av asfaltert grus, Ag (Dense Bitumen Macadam, DBM), som angitt under.

Installer det permeable forsterkningslaget og dekk det deretter til med et tett lag av Ag, se Tabell 10 for tykkelser på Ag-laget. Dette kan brukes som et midlertidig veidekke. Ag-materialet bør installeres i samsvar med BS4987-2:2003 *Coated macadam (asphalt concrete) for roads and other paved areas. Specification for transport, laying and compaction*. Erfaring har vist at det er lettere å manøvrere en beltedrevet asfaltutlegger over "ubundet" permeabelt forsterkningslagsmateriale enn en maskin på hjul. Mot slutten av anleggsperioden perforeres asfaltdekket og hullene fylles med 2/6,3 settelagsmateriale. Hullene bør ha en diameter på 75 mm med 750 mm hullavstand. Legg settelaget og steinen over asfalten.



**Figur 35:** Beltegående asfaltutlegger legger asfalt over et permeabelt forsterkningslag.

## 9.6 GEOTEKSTIL

Dersom det skal legges geotekstil mellom lagene i overbygningen, bør dette legges i samsvar med fabrikantens instruksjoner og overlappes med minst 300 mm, uten folder eller krøll. Det anbefales å søke råd hos fabrikanten eller leverandøren av geotekstilet.

## 9.7 PERMEABELT FORSTERKNINGSLAG

Ettersom permeable materialer mangler finstoff, kan det være fare for separasjon under transport og utlegging. En bør være varsom for å unngå separasjon, men dersom det skulle forekomme må det iverksettes avbøtende og korrigerende tiltak. Faren for at dette skal skje kan reduseres ved å bruke kantet, knust materiale med høy overflatefriksjon.

Det permeable lagets beskaffenhet og gradering varierer mellom ulike produksjonssteder, og det er oftest best å undersøke prosjektet for å fastsette riktig byggemetode.



**Figur 36:** Typisk 4/20 grove steinmaterialer i forsterkningslaget.

Det permeable laget bør legges i lag med 100 – 150 mm tykkelse og komprimeres for å sikre at det oppnås den største tetthet som er mulig for det aktuelle materiale og gradering, uten å knuse individuelle partikler eller å redusere hulromsprosenten til under dimensjonerende verdi, innenfor et toleranseområde på mellom +20 mm til –15 mm av dimensjonerende tykkelse. Materialene er mer eller mindre selvkomprimerende, slik at tung komprimering normalt ikke kreves. Gjenbruksmateriale kan brukes dersom det er lett å skaffe, men en må se til at det har jevn kvalitet, riktig gradering og er fritt for uønskede materialer som organiske stoffer eller stålavfall.

### 9.8 TETT MEMBRAN

For System C - ingen filtrasjon - må den tette membranen spesifiseres korrekt, og installeres og behandles forsiktig for å sikre at den ikke skades under arbeidet.

### 9.9 KLARGJØRING AV PLANUM

Eventuelle svake punkter bør masseutskiftes med egnet, komprimert materiale. Underbygningen, eller det opprinnelige materialet i grunnen, bør klargjøres med avjevning og komprimeres i samsvar med *Specification for Highway Works*, til en toleranse på mellom +20 mm og -30 mm. Dersom grunnforsterkning er gjennomført, må det kontrolleres at de dimensjonerende CBR-verdiene oppnås alle steder.

## 10. FUNKSJON OG VEDLIKEHOLD

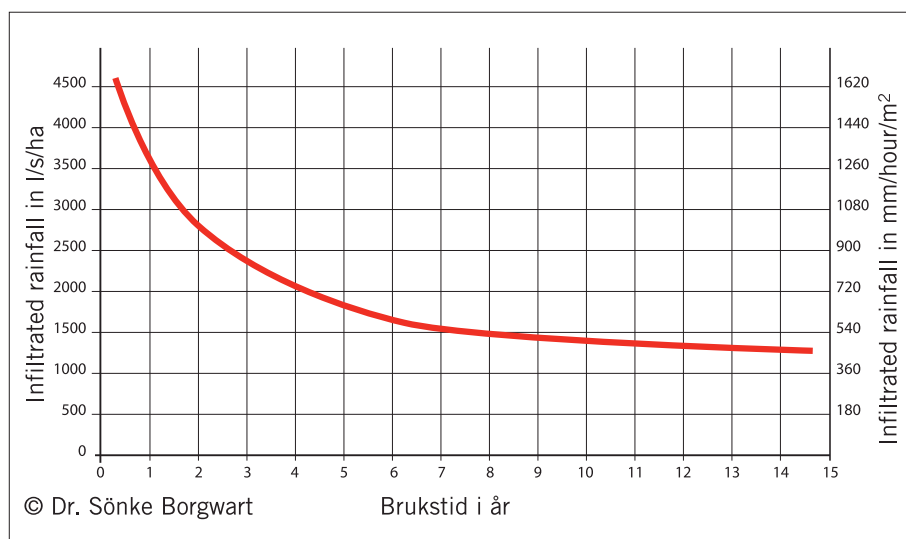
### 10.1 FUNKSJONS-EGENSKAPER

#### 10.1.1 OVERFLATEINFILTRASJONSMENGDER OG FORRETNING

Mengden av vann som kan passere gjennom et permeabelt dekke av betongstein avhenger av infiltrasjonskapasiteten for fugesanden, settelaget og de permeable materialene, og ikke av forholdet mellom arealet av åpne områder og betongoverflaten. Geotekstiler i de øverste lagene kan også påvirke infiltrasjonskapasiteten. Filtreringen gjennom fugene varierer med materialene som er brukt, men en typisk verdi for nylagte steindekker er 4.000 mm/time. De permeable steinmassene i forsterkningslaget vil ha en permeabilitet som er mange ganger høyere enn dette, minst 40.000 mm/time.

Uansett hvor høy permeabilitet som oppnås av steinmaterialene som er brukt i fugene og fundamentet, er hovedfaktoren den dimensjonerende infiltrasjonen for hele konstruksjonens tverrsnitt, inklusive materialet i grunnen, som oppnås over konstruksjonens levetid. Dekkets infiltrasjonskapasitet bør alltid fastsettes konservativt, da kortsiktige variasjoner kan forekomme som følge av vann som allerede er lagret, og man kan ha langsiktige infiltrasjonsreduksjoner.

Infiltrasjonskapasiteten vil svekkes over tid grunnet opphopning av finstoff i fugesanden, men verdien stabiliseres med tiden. Denne virkningen er oppsummert i Figur 37, hvor det fremgår at man kan forvente en lang brukstid for permeable dekker, noe som også er erfaringen fra eldre dekker. For å sikre en lang brukstid er det avgjørende at konstruksjonen beskyttes under anleggsperioden og mot overflateavrenning fra omkringliggende landskap.



**Figur 37:** Typisk reduksjon av belegningens infiltrasjonskapasitet over tid.

Amerikansk og tysk erfaring indikerer at dimensjonerende infiltrasjonskapasitet gjennom overflaten bør være 10% av opprinnelig kapasitet, for å ta høyde for virkningen av tiltetting over en forventet levetid på 20 år.

Selv etter å ha tatt høyde for tiltetting, har studier vist at normalt vil permeable dekkers langsiktige infiltrasjonskapasitet langt overstige de hydrologiske kravene fastsatt av britiske myndigheter. Følgelig kan permeable dekker utformes slik at de håndterer både langvarige nedbørsperioder og kortvarige regnskyll. CIRIA Report C 582 gir ytterligere informasjon om målte infiltrasjonsrater.

### 10.1.2 FROST

Det er fristende å tro at telehiv kan være et problem tatt i betraktning den tilsiktede lagringen av vann innenfor konstruksjonens oppbygging. Dette er imidlertid ikke tilfelle, ettersom vannet dreneres ut av overbygningen før det får tid til å fryse. Dersom frysing mot formodning skulle oppstå, vil det normalt ikke fryse som en homogen væske, vannet som fortrenses av den ekspanderende isen presses inn i det grove steinlaget, og dette hindrer at isen løfter dekket. Permeable dekker brukes derfor med suksess også i spesielt kalde klima.

Telehiv vil ikke forekomme dersom konstruksjonen er korrekt dimensjonert. Dersom konstruksjonen er full av vann og langvarig frysing forekommer (en kombinasjon som normalt er tilnærmet umulig ettersom konstruksjonen er utformet med tanke på rask drenering etter en nedbørshendelse), kan det dannes sopppormet is i fugene mellom steinene på dekkets overflate etter hvert som vannet presses opp i poreåpningene i fugematerialet. Den eneste registrerte hendelse av denne typen oppsto i en midtveststat i USA, hvor vinterklimaet er langt strengere enn i Storbritannia. Dette bør ikke være et problem i en riktig dimensjonert konstruksjon.

Dette harmonerer relativt dårlig med de forutsetninger som frostsikring av veger og jernbane i Norge bygger på. For disse er det i telesikringen lagt inn en faktor 1,0 til 1,4 for økningen i frostdybden på grunn av konveksjon og lavt vanninnhold i åpne veg- og banefundamenter

En bør merke seg at i et av de mest omfattende studiene av permeable dekkers funksjon, som ble foretatt i USA av Ferguson (2005), ble det ikke funnet noe eksempel på at et permeabelt dekke i kaldt klima hadde sviktet på grunn av frostskade. Dette inkluderte et eksempel med en 550 mm tykk konstruksjon som i et område med teledybde på inntil 1800 mm ikke hadde hatt noen nevneverdig deformasjon på 10 år. Det ble dessuten funnet at teledybden var mindre under permeable dekker enn under konvensjonelle tette konstruksjoner på grunn av konstruksjonens isolerende virkning.

### 10.1.3 HELSE, SIKKERHET OG TILGJENGELIGHET

Det har til tider vært en oppfatning at vann som blir stående på et permeabelt dekke kan utgjøre en helse- og sikkerhetsrisiko, enten på grunn av at vannet blir stående eller fryser. Dette er ikke riktig, ettersom systemene er utformet med tanke på hurtig drenering etter en nedbørsperiode, og derved bør det ikke finnes vann som blir stående særlig lenge. Faktisk gir permeable dekker av betongstein en fast, jevn, veldrenert overflate som oppfyller gjeldende tilgjengelighetskrav. Nylig gjennomført forskning i Irland viser dessuten at permeable dekker uten helning øker sikkerheten relatert til handlevogner på parkeringsplasser utenfor handle-sentre, hvor etterlatte handlevogner ellers kan trille av sted og skade kjøretøyer eller fotgjengere.

Det er mindre risiko for dannelse av is på permeable dekker sammenlignet med ordinære dekker fordi det ikke danner seg pytter på overflaten. Rimfrost kan imidlertid forekomme mer hyppig (CIRIA, 2001). Derved kreves det oftere avising, men med mindre påføring, for å opprettholde en trygg overflate for trafikk eller fotgjengere.

## 10.2 VEDLIKEHOLD

Som drøftet tidligere vil infiltrasjonskapasiteten for et permeabelt dekke av betongstein bli svekket over tid grunnet opphopning av finstoff i fugematerialet, men kapasiteten stabiliseres med tiden. Imidlertid er det bevist at infiltrasjonskapasitetene alltid holder seg betydelig høyere enn nedbørsintensiteten, slik at selv uten vedlikehold vil det være tilstrekkelig infiltrasjon til å håndtere nedbørshendelser. Enkelte fabrikanter anbefaler å feie dekket to ganger hvert år for å forebygge tiltetting. Erfaring fra mange prosjekter viser imidlertid at dette sjelden gjøres, og det permeable dekket fungerer fortsatt.

Dersom dekket skulle bli fullstendig tiltettet, kan det være mulig å rehabilitere det ved hjelp av en gatefeiemaskin. Tester foretatt i Storbritannia og Frankrike har vist at spyling og bruk av en gatefeiemaskin er mer effektivt enn en kost og gatefeiemaskin når det gjelder å fjerne slam fra fugene mellom steinene.

For det første er det avgjørende at jord og andre fine materialer forhindres fra å tilsmusse dekkets overflate, for eksempel med riktig detaljplanlegging av ytterkantene som vist i Figur 33. Dannelse av vannpytter på overflaten er nesten helt sikkert en indikasjon på utilstrekkelig infiltrasjon og at fugene/hulrommene kan ha behov for feiing eller, i ekstreme tilfeller, utskifting.

### 10.3 GODKJENNING

Kapitlet som omtaler godkjenning av områder er skrevet i forhold til britisk lovgivning, som avviker fra norske forhold.

I likhet med konvensjonelle dekker av betongstein, anses svanker og brudne eller ødelagte steiner å være skadelig for dekkets funksjonsevne eller en risiko for brukerne, og medfører behov for iverksetting av passende utbedringstiltak.

På utgivelsestidspunktet (januar 2010) finnes det ingen bestemmelse om godkjenning av SUDS-teknikker som permeable dekker, selv om denne situasjonen trolig vil endre seg som følge av ny lovgivning. Eksisterende lovgivning, som for eksempel § 38 i The Highways Act (Veiloven), 1980 og § 106 i Town and County Planning Act (lov om by og fylkesregulering), 1990, kan fungere som en godkjenningsmekanisme i enkelte tilfeller. Uansett hvilken metode som velges anbefales det å søke råd hos relevante aktører på et tidlig tidspunkt for sikre avtaler om ansvar for lang-siktig vedlikehold.

The Flood and Water Management Act 2010 (Lov om håndtering av oversvømmelser og vann) gjelder for alt byggearbeid eller andre strukturer, inklusive «alt som dekker grunnen (slik som en gårds plass eller annen overflate)», som vil påvirke grunnens evne til å absorbere vann. Når loven trer i kraft vil ikke relevante byggearbeider kunne startes før dreneringssystemene er odkjent av «Godkjenningsorganer» – som oftest «county councils or unitary authorities» – i tråd med nasjonale SUDS-standarder. Den nåværende rettigheten til å kople systemer for drenering av overflatevann til offentlig kloakkledningsnett (i henhold til § 106 i 1991 Water Industry Act (lov om vannindustri) vil bli begrenset til å gjelde for systemer som er godkjent i henhold til de nye reglene, dvs. formålstjenlig SUDS.

Godkjenningsorganene vil være bundet til å akseptere alle godkjente dreneringssystemer, bortsett fra systemer på atskilte eiendommer og offentlige hovedveier. Dreneringssystemer for veier skal godkjennes av Highways Authorities (Veimyndighetene) med planer, bygging og vedlikehold i tråd med de nye nasjonale standardene. Det forventes at de nasjonale standardene som må oppfylles for å få godkjenning, vil bli offentliggjort av regjeringen i 2011. De vil dekke planlegging, bygging, vedlikehold og drift av SUDS. Når de gjelder CBPP, bør veiledningen i dette Interpavedokumentet sørge for et forsvarlig grunnlag for den relevante nasjonalstandard.

## 11. REFERANSER OG ANDRE INFORMASJONS- KILDER

### 11.1 REFERANSER

British Standards Institution (1996). *Method for determination of the relative hydraulic conductivity of permeable surfacings*. Draft for development. DD229:1996.

British Standards Institution (2003). BS EN 13242: 2003, *Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction*.

British Standards Institution (2003). BS EN 1338: 2003, *Concrete Paving Blocks – Requirements and test methods*.

Building Research Establishment (1991). *BRE Digest 365, Soakaway Design*. 1991.

Cedergren H R (1974). *Drainage of highway and airfield pavements*. John Wiley and Sons.

CIRIA (2001). *Source control using constructed pervious surfaces*. Report C 582, 2002.

CIRIA (2001a). *Rainwater and greywater reuse in buildings: best practice guidance*. CIRIA Report C 539.

CIRIA (2004). *Sustainable Drainage Systems. Hydraulic, structural and water quality advice*. Report C 609, 2004.

CIRIA (2006). *Designing for exceedance in urban drainage – good practice*. CIRIA Report C 635.

CIRIA (2007). *The SUDS Manual*. CIRIA Report C 697.  
Scottish Building Standards Agency (2007). *Scottish Building Standards: 2007. Technical Handbook 3, Environment*.

Communities and Local Government (2006). *Development and flood risk*. Planning Policy Statement PPS 25. December 2006.

Environment Agency (2001). *Guidance on requirements for prior investigation and monitoring (including requisite surveillance of groundwater) for activities authorised under the groundwater regulations 1998*. R&D Technical Report P2-174.

Environment Agency (2006). *Use and design of oil separators in surface water drainage systems: Pollution prevention guideline* PPG 3.

Evans E, Ashley R, Hall J, Penning-Rowsell E, Sayers P, Thorne C and Watkinson A (2004) *Foresight. Future Flooding. Scientific Summary: Volume II Managing future risks*. Office of Science and Technology, London.

Ferguson B (2005). *Porous pavements. Integrative studies in water management and land development*. CRC Press, Florida.

Highways Agency (2004). *Specification for Highway Works*.

H R Wallingford (2000). *The Wallingford Procedure for Europe. Best Practice Guide to Urban Drainage Modelling*.

Version 1.1, December 2000.

Interpave (2005). *Concrete block paving. Guide to the properties design, construction, reinstatement and maintenance of concrete block pavements*, (available on [www.paving.org.uk](http://www.paving.org.uk)).

Interpave (2006). The cost of paving. Comparative initial construction and whole life cost analyses for pavements. Prepared by Scott Wilson for Interpave (available on [www.paving.org.uk](http://www.paving.org.uk)).

Kellagher RBB and Lauchlin CS (2003). *Use of SUDS in high density developments, defining hydraulic performance criteria*. H R Wallingford Report SR 640, December 2003.

Kelly A. Collins, EI; William F. Hunt, PhD., PE; and Jon M. Hathaway, EI (2006) *Evaluation of various types of permeable pavements with respect to water quality improvement and flood control*. 8th International Conference on Concrete Block Paving, November 6-8, 2006 San Francisco, California USA.

The National SUDS Working Group (2004). *Interim Code of Practice for Sustainable Drainage Systems*. July 2004.

Office of the Deputy Prime Minister (2002). *The Building Regulations: 2000. Drainage and Waste Disposal*. Approved Document H, 2002 Edition.

Rankin K and Ball J E (2004) *A Review of the Performance of Permeable Pavers*. International Conference on Water Sensitive Urban Design 2004. 21st-25th November 2004, Adelaide, South Australia.

Scottish Executive (2001). *Planning Advice Note PAN 61, Planning and Sustainable Urban Drainage Systems*. July 2001.

Scottish Executive (2004). *Scottish Planning Policy SPP7, Planning and Flooding*.

BS4987-1:2005 'Coated macadam (asphalt concrete) for roads and other paved areas – Part 1: Specification for constituent materials and for mixtures.'

British Standards Institution (2009). BS 7533-13:2009, *Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers. Guide for the design of permeable pavements constructed with concrete paving blocks and flags, natural stone slabs and setts and clay pavers*.

Department for Environment, Food and Rural Affairs (2009). *Draft Flood and Water Management Bill*.

British Standards Institution. BS 7533-1: 2001, *Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers: Guide for the structural design of heavy duty pavements constructed of clay pavers or precast concrete paving blocks*.

British Standards Institution. BS 7533-2: 2001, *Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers: Guide for the structural design of lightly trafficked pavements constructed of clay pavers or precast concrete paving blocks*.

British Standards Institution. BS 7533-3: 2005, *Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers: Code of Practice for laying precast concrete paving blocks and clay pavers for flexible pavements*.

Interlocking Concrete Pavement Institute, USA. *Permeable Interlocking Concrete Pavements*. 1999.

Professor Brian Shackel of the University of New South Wales, Sydney, Australia. *Water penetration and structural evaluations of Permeable Eco-Paving*.

CIRIA. Project Report 22, *Infiltration Drainage – Case Studies of UK Practice*. 1995.

C B Elvidge and G P Raymond. *Laboratory survivability of non woven geotextiles on open graded crushed aggregate*. *Geosynthetics International*, Vol 6 No 2. 1999.

Institute of Hydrology. *The Flood Estimation Handbook*. 1999.

Environment Agency. *Policy and practice for the protection of groundwater*. The Stationery Office. 1998.

Carsten Dierkes, Lothar Kuhlmann, Jaya Kandasamy and George Angelis. *Pollution Retention Capability and Maintenance of Permeable Pavements*.

Claudia Yun Kang: 2006. *Performance Reviews of Hong Kong International Airport and Yantian International Container Terminals*.

## 11.2 ANDRE REFERANSER

CIRIA Website at [www.ciria.org/suds](http://www.ciria.org/suds)

ICPI document – *Permeable Interlocking Concrete Pavements* by David R Smith at [www.icpi.org](http://www.icpi.org)

SEPA website at [www.sepa.org.uk](http://www.sepa.org.uk)

A number of SUDS development sites are shown at [www.suds-sites.net](http://www.suds-sites.net)

Sustainable Drainage News – published by CIRIA bi-annually on [www.ciria.org.uk/suds](http://www.ciria.org.uk/suds)

Environment Agency SUDS website at [www.environment-agency.gov.uk](http://www.environment-agency.gov.uk)  
(click on 'Business and Industry' and scroll down to SUDS).

Further information on drainage software packages can be obtained from Micro Drainage and Wallingford Software.

**This Guide and other useful information is available on the Interpave website: [www.paving.org.uk](http://www.paving.org.uk)**

## VEDLEGG 1

### EKSEMPLER PÅ UTFORMING

Følgende eksempler gjelder to alternative scenarier for etablering av permeable overbygninger. Den første delen forutsetter at materialet i grunnen er egnet for infiltrasjon og at System A derved kan brukes. Den andre delen gjør bruk av samme anleggsplan, men forutsetter at grunnforholdene ikke er egnet for infiltrasjon og at System C er brukt.

Til slutt tar vi for oss strukturell dimensjonering av overbygningene.

### VURDERING AV PROSJEKTET

Prosjektet befinner seg i Derby.

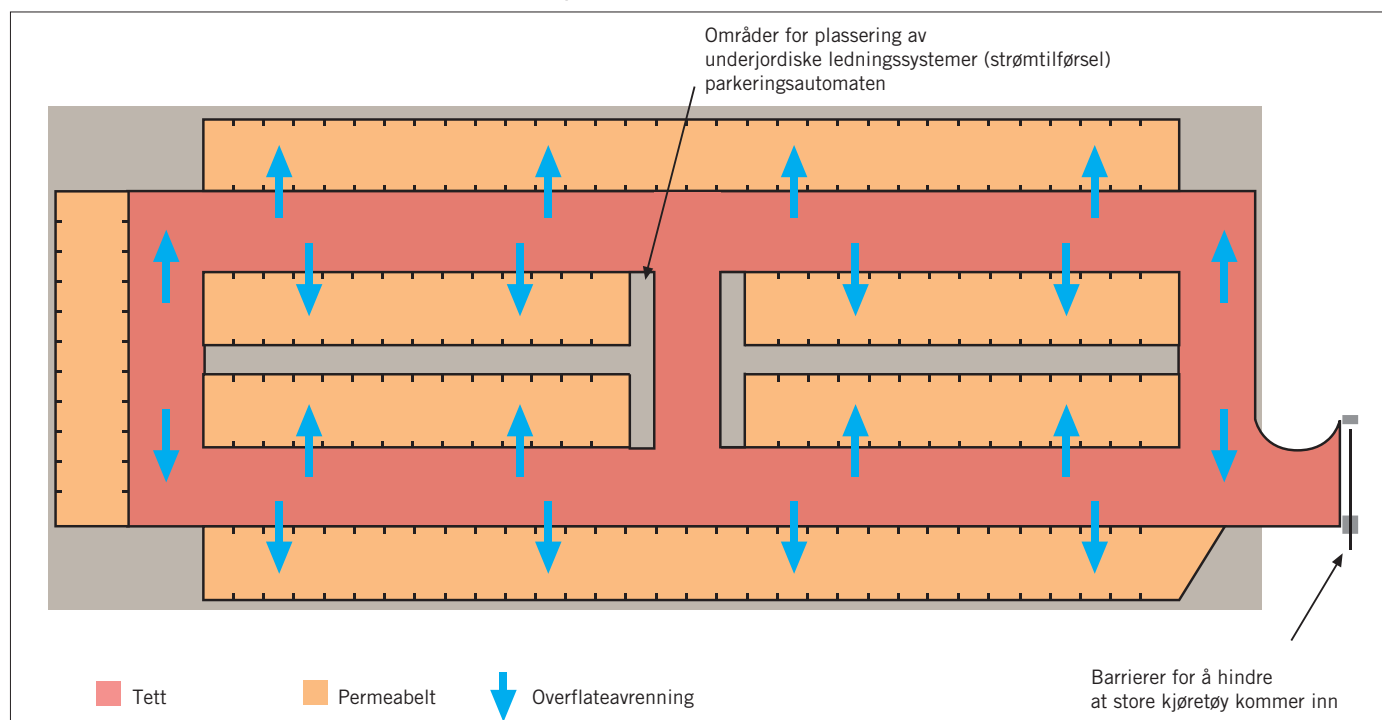
Hydraulisk område  $M_5-60 = 20 \text{ mm}$ ,  $r = 0,4$  (Figur 20).

Parkeringsanlegget har en høydebegrensningsbom for å hindre innkjøring av store kjøretøy. Derfor brukes Klasse 2 – bilparkering (Tabell 7).

CBR (vannmettet) = 5% (sand og grus)

Infiltrasjonsintensitet =  $4,3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

Fra Tabell 1 – infiltrasjonsintensiteten er på mellom  $10^{-3}$  og  $10^{-6} \text{ m/s}$  og passer derved til System A. Dessuten er ikke anlegget tilsmusset og det ligger ikke innenfor en sone med vern av grunnvannskilde, det ligger ikke i nærheten av bygninger og overflateavrenningen vil ikke være særlig forurensset (Se Kapittel 5).



Det er få underjordiske installasjoner og jordsmonnet er egnet for infiltrasjon. Følgelig er uforutsatte utgravinger lite sannsynlige, og selv om de skulle forekomme fordi vannet ganske enkelt passerer gjennom konstruksjonen og ned i grunnen, vil virkningen av en eventuell utgraving være minimal ettersom vannet strømmer til enten den ene eller den andre siden av utgravingen, hvor det håndteres av konstruksjonen.

Areal av totalt område = 4217 m<sup>2</sup>

Areal av tett område = 2461 m<sup>2</sup>

Areal av permeabelt område (parkeringsplasser) = 1756 m<sup>2</sup>

## VANNLAGRINGSSYSTEM

Forhold mellom areal av tett og permeabelt = 2461:1756 = 1,4:1, som er mindre enn 2:1 og derfor akseptabelt. Bruk av Tabell 6 er akseptabelt (selv om det er konservativt).

Infiltrasjonsintensitet = 4,3 x 10<sup>-5</sup> m/s, som er større enn 1 x 10<sup>-6</sup> m/s. Bruk av Tabell 6 er akseptabelt (selv om det er konservativt).

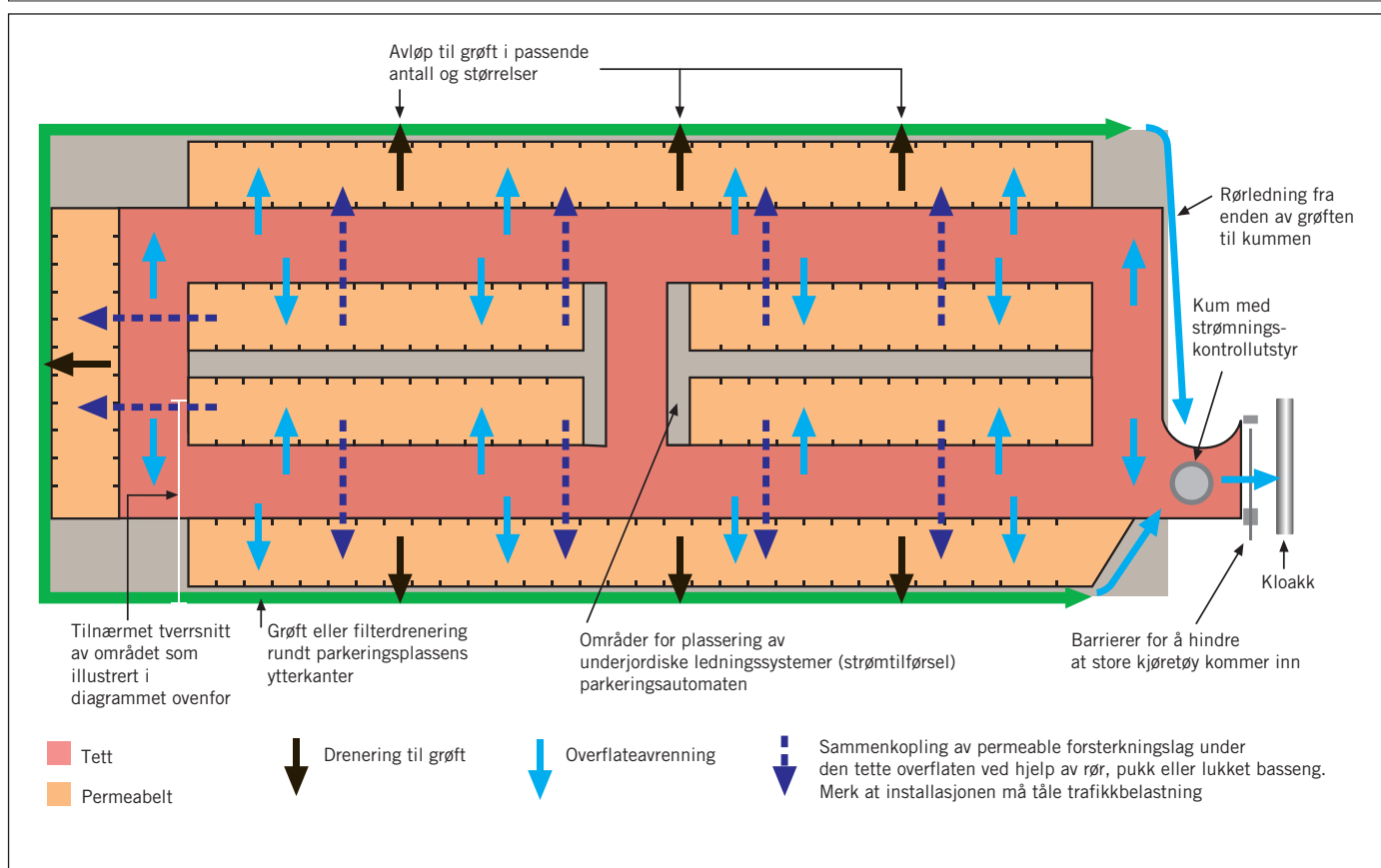
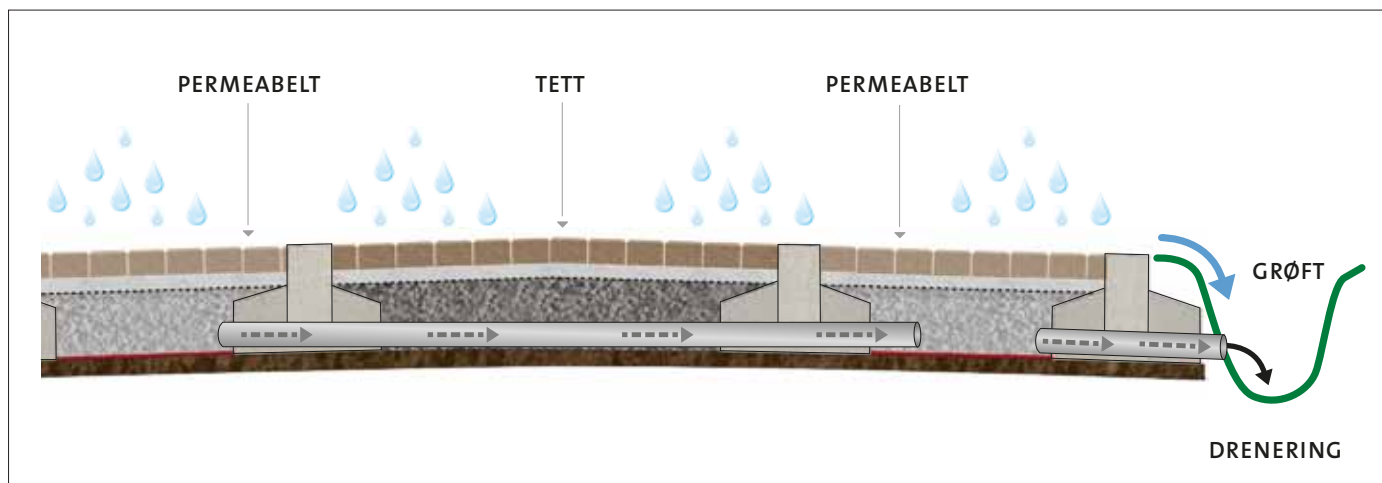
Planlegg lagring for en returperiode på 30 år innenfor den permeable konstruksjonens forsterkningslag.

Ifølge Tabell 6 er nødvendig tykkelse på det permeable forsterkningslaget = 230 mm.

Fordi vannet vil infiltrere til jordsmonnet under, er det i dette tilfellet ikke behov for å vurdere langtids lagring.

## FORDRØYNING S-SYSTEM C

Det neste eksemplet gjelder de samme arealene som i det første eksemplet, men det forutsettes nå at materialet i grunnen er uegnet for System A –infiltrasjon, og at System C (fordrøyning av vann i forsterkningslaget) er valgt. Forsterkningslaget er tilkople et avløp for å drenere bort vannet. Årsaken til dette kan være at materialet i grunnen ikke er tilstrekkelig permeabelt (enten fordi infiltrasjonskapasiteten er mindre enn 10<sup>-7</sup> m/s, fordi anlegget ligger innenfor en veronesone for en vannkilde, eller fordi det ligger forurensede jordmasser under anlegget).



Totalt område = 4217 m<sup>2</sup> med et beregnet kapasitetskrav til dreneringen av anlegget =  $4217 \times 7/10000 = 2,95$  l/s. I dette tilfellet må vannet som er oppsamlet i den permeable overbygningen overføres til et ledningssystem som leder det til utløpet, som er ledningen i veien øverst til høyre på planen. Dette kan oppnås på flere ulike måter, men ledningssystemet må dimensjoneres slik at det har tilstrekkelig kapasitet. Det kan også bli nødvendig å installere strømningsbegrensninger for å sikre at vannet lagres på relevante steder.

En mulig plan er angitt i figuren, men det finnes andre løsninger som er like bra.

Fra Tabell 5 er nødvendig tykkelse for fordrøyning på det permeable forsterkningslaget 120 mm. Dette gjør det ikke mulig å ta imot vann fra tette områder.

Derved må tykkelsen økes på grunnlag av:

totalt areal av tett og permeabelt område

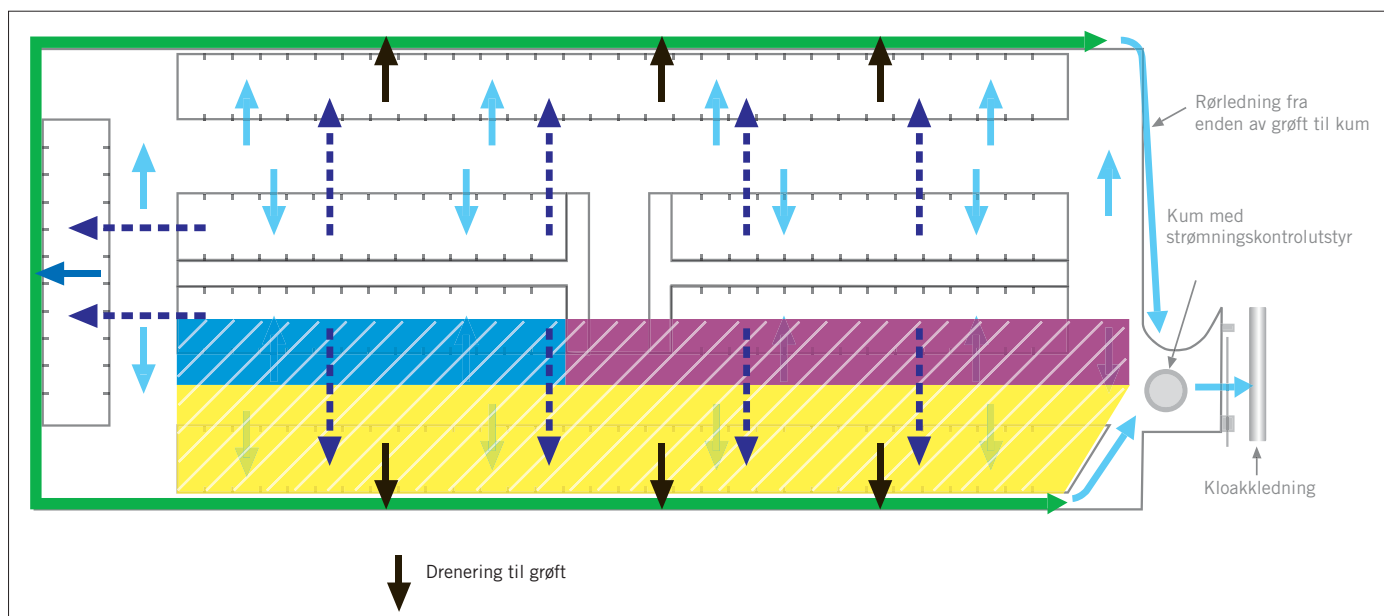
areal av område med permeabelt dekke av belegningsstein

$$= \frac{120 \times 4217}{1756} = 288 \text{ mm}$$

Følgelig, etter avrunding, er det behov for et permeabelt forsterkningslag på 290 mm.

## PLANLEGGING AV OVERFØRINGSKAPASITET

I en fordrøyningsplan i henhold til System C, må vannet strømme horisontalt mot et avløp. I mange anleggsplaner vil det permeable forsterkningslaget finnes som atskilte områder under det permeable dekket, separert av tette konstruksjoner. Vannstrømmene mellom ulike områder av permeabelt forsterkningslag må planlegges grundig for å sikre at vannet holdes lagret i riktig område og at rørledningene eller forsterkningslaget har nok kapasitet til å overføre vannet til utløpet (utløpene).



Vann kan strømme mellom områdene ved hjelp av rørledninger, lukkede lagringsbokser eller et lag av grovt steinmateriale. Dessuten kan vannet strømme langs områder med permeabelt forsterkningslag. På horisontale anlegg er det som regel mulig å bruke et begrenset antall strømningskontroller for å sikre optimal lagring i hvert område av forsterkningslaget. I dette tilfellet er hovedhensynet å sikre at alle elementer (rørledninger, forsterkningslag, osv) har tilstrekkelig kapasitet til å drenere området. På anlegg med helning kreves det vanligvis et større antall strømningskontroller for å holde vannet i riktig område.

Det grove forsterkningslaget under det permeable dekket kan dessuten brukes til å overføre vann til avløpet, forutsatt at det har tilstrekkelig kapasitet. Alternativt kan vannet føres via en grøft eller filteravløp rundt anleggets ytterkanter. I dette tilfellet vil det være behov for utløp fra forsterkningslaget til grøfta eller filteravløpet med regelmessige avstander. Antall og størrelse på rørledningene avhenger av vannmengden som må overføres.

Tillatte utslippsmengder for hvert område beregnes ved hjelp av følgende formel:

$$\frac{D_a = D_s \times A}{10.000}$$

Hvor:

$D_a$  = dimensjonerende utslippsmengde for et bestemt lagringsområde (l/s)

$D_s$  = dimensjonerende utslippsmengde for anlegget, pr. hektar (l/s/ha)

$A$  = areal av nedbørsområde med drenering til forsterkningslag ( $m^2$ )

Blått område vil bli drenert til det gule området.

Blå områder utgjør  $360m^2$ , følgelig er pro rata begrenset utslippsmengde  $7 \text{ l/s/ha} \times 360/10000 = 0,25 \text{ l/s}$ .

Følgelig må overføringen fra den blå delen av området under det tette området ha denne kapasiteten eller større, avhengig av om det er behov for strømningskontroll på dette punktet for å sikre at lagringen fungerer, om nødvendig.

I dette tilfellet er arealene relativt horisontale. Strømningskontroll for hele anlegget kan oppnås ved hovedutløpet til kloakk-

ledningen, og de separate lagringsområdene har da tilstrekkelig kapasitet i forhold til dimensjonerende regnskyll. Følgelig kreves et forsterkningslag med en strømningskapasitet på minst 0,25 l/s for å føre vannet fra det blå området til det gule området. Et rør med en diameter på 100 mm oppnår dette ved en helning på 1 på 1000 (1,84 l/s). Dersom det var behov for en strømningskontroll på dette punktet, ville det ha vært behov for en innsnevring (mindre enn 20 mm). Det er av den grunn bedre å sikre at vannet har en strømningskontroll lengre nedstrøms.

Det gule området samler vann fra de gule, blå og lilla områdene. Totalt område (gult + blått + lilla) måler 1560 m<sup>2</sup>, slik at pro rata begrenset utslippsrate er 7 l/s/ha x 1560/10000 = 1,1 l/s. Derfor er det nok en gang tilstrekkelig med en 100 mm rørledning for å fjerne vannet fra forsterkningslaget og inn i grøfta eller filteravløpet. (1,84 l/s).

I praksis kan det imidlertid installeres to eller tre rør for å sikre en mer effektiv drenering av det permeable forsterkningslaget.

#### **BEREGNING AV STRØMNINGSKAPASITET FOR PERMEABELT FORSTERKNINGSLAG UNDER DET TETTE OMRÅDET**

Grove steinmaterialer kan brukes til å lede vannet under veien.

Forutsett 100 mm tykkelse for 4/20 materiale for permeabelt forsterkningslag.

Merk: denne beregningen avhenger av det permeable forsterkningslagets permeabilitet, og det følgende er en metode for et grovt estimat av det permeable forsterkningslagets strømningskapasitet. Dersom kapasiteten er kritisk, bør det permeable forsterkningslagets permeabilitet måles i et laboratorium og en mer detaljert analyse av strømmingen bør gjennomføres.

#### **BEREGNING AV STRØMNINGEN GJENNOM DET PERMEABLE FORSTERKNINGSLAGET VED HJELP AV DARCY'S LOV**

$$Q = Aki$$

Anta at hydraulisk gradient normalt er 1 på 500 (helning av undergrunns materialet til utløp). Følgelig er hydraulisk gradient  $i = 0,002$

$$k = 0,01 (D^{10})^2 \text{ (Hazen's formel)}$$

Ifølge Interpave-spesifikasjonene skal  $D^{10}$  for det permeable forsterkningslaget maksimalt være ca. 10 mm. Det man i praksis normalt oppnår, og som dessuten oppfyller de andre kravene til materialene, er 7 eller 8 mm.

Anta at  $D^{10}$  for det permeable forsterkningslaget er 7 mm.

$$k = 0,5 \text{ m/s}$$

Det permeable forsterkningslaget som skal drenere under det tette området er 100 mm tykt. Anta at det er installert under hele det tette området, slik at bredden er 45 m.

Tverrsnittsarealet av området som vannet passerer gjennom,  
 $A = 0,1 \times 45 = 4,5 \text{ m}^2$

$Q = 4,5 \times 0,5 \times 0,002 = 0,0045 \text{ m}^3/\text{s} = 4,5 \text{ l/s} >$   
 nødvendig strømming fra blått område til gult område (0,25 l/s).

#### BEREGNING AV STRØMNINGS- KAPASITET FOR DET PERMEA- BLE FORSTERKNINGSLAGET LANGS DET GULE OMRÅDET

**Merk:** Denne beregningen er basert på det permeable forsterkningslagets permeabilitet, og det følgende er en metode for å komme frem til et grovt overslag av det permeable forsterkningslagets strømningskapasitet. Dersom kapasiteten er kritisk, bør det permeable forsterkningslagets permeabilitet måles ved laboratorietesting, og en mer detaljert analyse av strømmingen bør gjennomføres.

Beregn strømmingen gjennom det permeable forsterkningslaget ved hjelp av Darcy's lov. Strømmingen er perpendikulær til bredden i dette tilfellet.

$$Q = Aki$$

Anta at hydraulisk gradient normalt er 1 på 500 (helning av planum til utløp). Følgelig er hydraulisk gradient  $i = 0,002$   
 $k = 0,01 (D^{10})^2$  (Hazen's formel).

Ifølge Interpave-spesifikasjonen skal  $D^{10}$  for det permeable forsterkningslaget maksimalt være ca. 10 mm. Det man i praksis normalt oppnår, og som dessuten oppfyller de andre kravene til materialene, er 7 eller 8 mm.

Anta at  $D^{10}$  av det permeable forsterkningslaget er 7 mm.

$$k = 0,5 \text{ m/s}$$

Det permeable forsterkningslaget er 290 mm tykt og parkeringsplassen er 5 m lang.

Tverrsnittsarealet av området som vannet passerer gjennom,  
 $A = 0,29 \times 5 = 1,45 \text{ m}^2$ .

$$Q = 1,45 \times 0,5 \times 0,002$$

$Q = 0,00145 \text{ m}^3/\text{s} = 1,45 \text{ l/s}$  (dette tilsvarer et begrenset utslipp for områdene som bidrar med vanntilstrømning på 9,3 l/s/ha, slik at forsterkningslaget ovenfor ikke har tilstrekkelig kapasitet og det er behov for en strømningskontroll ved hovedavløpet).

## STRUKTURELL DIMENSJONERING AV SYSTEM A OG C

Dreneringskapasiteten er større enn de 1,1 l/s som er minste utslipp for de drenerte områdene. Følgelig er strømningskapasiteten langs forsterkningslaget akseptabel.

Den permeable overbygningen for parkeringsplassen som er dimensjonert ut fra hydrauliske krav, skal dimensjoneres for å sikre at den tåler trafikkbelastningene. Parkeringsplassene vil kun bli utsatt for lettere trafikk. Ettersom større nyttekjøretøy er forhindret fra å kjøre inn i parkeringsanlegget, kan den permeable konstruksjonen utformes for Belastningskategori 2. Overbygningen skal utformes som et System A (infiltrasjon) hydraulisk system. Materialet i grunnen har en våt California Bearing Ratio (CBR) på 5%. Anlegget er stort, slik at det antas at det vil utsettes for 5.000 ekvivalente 8,0 tonns aksellaster gjennom byggefasen.

### Trinn 1

Bruk Tabell 7 til å velge belastningskategori fra 1 til 6. I dette eksemplet er parkeringsplassene i belastningskategori 2 (Bilparkering), som tilsvarer 100 kumulative ekvivalente 8,0 tonns aksellaster.

### Trinn 2

For System A, bruk Figur 23 for å fastsette den strukturelle dimensjoneringen.

Dimensjonering av parkeringsplassen (Belastningskategori 2) gir følgende krav til lagtykkelser:

**80 mm tykkelse på permeabelt dekke av betongstein**  
**50 mm tykkelse på settelaget**  
**350 mm tykkelse på permeable, grove steinmaterialer**  
**Geotekstil mellom materialet i grunnen og de grove steinmaterialene**

For System C, bruk Figur 24 for å utføre strukturell dimensjonering.

Dimensjoneringen av parkeringsplassen (Belastningskategori 2) gir:  
**80 mm tykkelse på permeabelt dekke av betongstein**  
**50 mm tykkelse på settelaget**  
**350 mm tykkelse på permeabelt bærelag av grove steinmaterialer**  
**150 mm tykkelse på nedre forsterkningslag**  
**Tett membran Kategori 1 (0,5 mm tykk Polyetylen) mellom forsterkningslaget og bærelaget**

### Trinn 3

Fra Tabell 8 justeres tykkelsen for overbygningsmaterialer fra dimensjoneringsfiguren for undergrunn med CBR under 5%. I dette tilfellet er justering ikke nødvendig.

### Trinn 4

Materialer for bygging av permeable konstruksjoner må holdes rene under byggefasen. For de delene av parkeringsplassen som skal brukes som atkomstvei til anlegget, legges det et lag med asfaltert grus. Umiddelbart før byggingen av det permeable dekket av betongstein, skal det perforeres med huller på 75 mm diameter og 750 mm hullavstand. Det kumulererte antall ekvivalente aksellaster i byggefasen er 5000 og antall ekvivalente aksellaster i driftsfasen er 100, slik at det totale antallet er 5100. Fra Tabell 9 er tykkelsen på asfaltlaget 130 mm. Derfor er dimensjoneringen for de delene av parkeringsplassen som utsettes for anleggstrafikk som følger:

#### System A (infiltrasjon):

**80 mm tykkelse på permeabelt dekke av betongstein**  
**50 mm tykkelse på settelaget**  
**130 mm tykkelse på perforert asfaltert grus**  
**350 mm tykkelse på ubundet grov steinmateriale**  
**Geotekstil mellom materialet i grunnen og det grove steinmaterialet**

og

#### System C (ingen infiltrasjon):

**80 mm tykkelse på permeabelt dekke av betongstein**  
**50 mm tykkelse på settelaget**  
**130 mm tykkelse på perforert asfaltert grus**  
**350 mm tykkelse på ubundet steinmateriale**  
**Tett membran kategori 1 (Polyetylen i 0,5 mm tykkelse)**  
**150 mm tykkelse på nedre forsterkningslag**

## OVERBYGNINGENS TYKKELSE

Tabellen nedenfor viser System A og B.

For å kunne fastsette endelige tykkelser for lagene i konstruksjonen etter System A eller C, velges den største tykkelsen.

|                                                                                                                              | System A                    | System B                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| Dimensjonerende tykkelse av granulære lag i overbygningen ut fra hydrauliske krav                                            | 230 mm                      | 290 mm                                 |
| Dimensjonerende tykkelse på granulære lag i overbygningen ut fra bæreevnekrav (ingen anleggstrafikk på dekket under bygging) | 350 mm granulære materialer | 350 mm<br>150mm nedre forsterkningslag |

Oppsummering av dekkets dimensjonerende tykkelse:

|                                                                                                       |                                                         |                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dimensjonerende tykkelse på strukturelle lag i overbygningen (anleggstrafikk på dekket under bygging) | 130 mm<br>asfaltert grus<br>350 mm granulære materialer | 130 mm<br>asfaltert grus<br>350 mm<br>granulære materialer<br>150 mm nedre forsterkningslag |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|

### Trinn 5

Utarbeide spesifikasjoner for materialene som inngår i den permeable overbygningen.

## VEDLEGG 2 FORKORTELSER

|                   |                                                                         |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>CBPP</b>       | Concrete Block Permeable Pavements                                      |
| <b>SUDS</b>       | Sustainable Urban Drainage Systems                                      |
| <b>SEPA</b>       | Scottish Environment Protection Agency                                  |
| <b>CGA</b>        | Crushed Gravel Aggregate                                                |
| <b>CIRIA</b>      | the Construction Industry Research and Information Association, England |
| <b>LOD-Anlegg</b> | Anlegg for lokal overvannsdistribusjon                                  |

OVERSETTELSEN ER SPONSET AV:



MUR- OG BETONGBRANSJEN I NORGE

Ny oppdatert versjon kan lastes ned på:  
[www.byggutengrenser.no](http://www.byggutengrenser.no) eller [www.belegningsstein.info](http://www.belegningsstein.info)