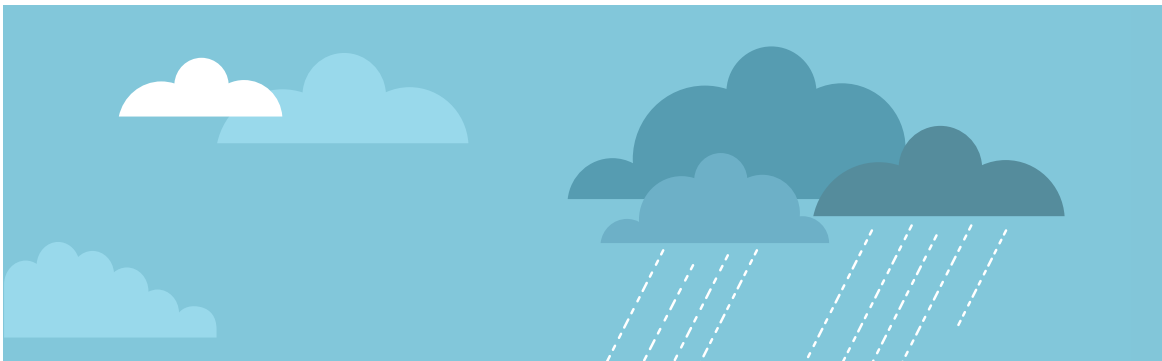




Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning

PROJEKTERING, UTFÖRANDE SAMT DRIFT OCH UNDERHÅLL
AV MULTIFUNKTIONELLA GATURUM



Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning

**PROJEKTERING, UTFÖRANDE SAMT DRIFT OCH UNDERHÅLL
AV MULTIFUNKTIONELLA GATURUM**

Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning

© 2019 Svensk Markbetong

PRODUKTION: Kontento AB och Bigtail AB

ILLUSTRATIONER:

Bigtail AB (vissa efter förlaga av Cecilia Johansson, Gerd Westholm, Lönegård & Co)

FOTO: Benders, Starka, S:t Eriks, Multiblokk och Erik Simonsen

TYPSNITT: Adobe Garamond Pro och DIN

PAPPER: MultiArt Silk (omslag, 250 g, inlaga, 130 g)

TRYCK OCH REPRO: Billes Tryckeri AB

Utgåva 1. Första upplagan.

ISBN 978-91-519-3477-8

DISTRIBUTION: www.svenskmarkbetong.se

Förord

Pågående klimatförändringar skapar utmaningar för ett samhälle i utveckling. Städernas förtätning ökar ytvavrinningen, minskar naturliga avrinningsområden och grönområden, samt ökar påfrestningarna på dagvattensystemet. Med traditionell byggteknik i kombination med förändring i klimatet riskerar vi dock att förvärra situationen. Traditionella konstruktioner förlorar normalt bärighet vid närvaro av vatten. Följaktligen har så täta material som möjligt använts. Detta har påverkat olika typer av växtlighet negativt och gjort det mycket svårt för dem att etablera sig.

Det svenska VINNOVA-finansierade projektet *"Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor"* (www.klimatsakradstad.se) har otvetydigt visat att det är fullt möjligt att bygga överbyggnadskonstruktioner med hög bärighet, som samtidigt möjliggör en hållbar dagvattenhantering och en väl fungerande etablering av träd och växtlighet. Projektet representerade ett övergripande samarbete med över tjugo olika projektpartners från olika delar av branschen, från kommuner, konsulter, tillverkare och entreprenörer.

Denna handbok är en vidareutveckling av forskningsresultat från ovan nämnda projekt, med bidrag från internationell forskning och praxis. Handboken presenterar tekniska konstruktionslösningar i detalj, samt procedurer för beräkning av konstruktionernas bärighet under trafiklast och deras förmåga att omhänderta, fördröja och potentiellt rena dagvatten. Handboken ger även förslag till utförande samt till hur byggda anläggningar ska underhållas. Handboken introducerar flera nya förhållningssätt och analysparametrar som normalt inte används inom anläggningsbranschen eller återfinns i gällande styrdokument. Vinnovaprojektets breda förankring indikerar dock att presenterade värden och förhållningssätt bör betraktas som en branschöverskridande överenskommelse.

Handboken har författats av Erik Simonsen (Cementa AB) och Anders Junghage (S:t Eriks AB) med stöd av projektets styrgrupp bestående av Jan Lang (Starka Betongindustrier), Kjell Ryberg (Benders Sverige), och Jörgen Sandgren (S:t Eriks AB). Värdefulla synpunkter har erhållits från Kent Fridell (Edges/SLU), Henrik Sjöholm (Skanska Sverige), Fredrik Hellman och Shafiqur Rahman (VTI), Björn Schouenborg och Jörgen Larsson (Rise).

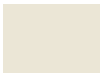
Svensk Markbetong är ett tekniskt samarbetsprojekt mellan Starka Betongindustrier, Benders Sverige, S:t Eriks och Cementa AB.

Stockholm, december 2019
Erik Simonsen, Cementa AB

Förord	3
1 Inledning	6
2 Samspel mellan grått, blått och grönt	8
3 Rening av dagvatten	10
4 Typkonstruktioner	14
4.1 System I och II: Full infiltration	16
4.2 System I och II: Partiell infiltration	17
4.3 System I och II: Ingen infiltration	18
4.4 System III: Ingen infiltration	19
4.5 Val av typkonstruktion	20
4.6 Val av konstruktion – trafikklass	22
4.7 Val av konstruktion – hydraulisk konduktivitet i terrass	22
4.8 Val av konstruktion – närhet till grundvattenyta	24
4.9 Val av konstruktion – föroreningar i undergrund	24
4.10 Val av konstruktion – riskbedömning	25
5 Material	27
5.1 Dränerande markstensbeläggning	27
5.2 Fog- och sättmaterial	28
5.3 Obundet bär- och förstärkningslagermaterial	29
5.4 Dränerande bundet bärlager	32
5.5 Terrassmaterial	32
6 Bärighets- och hydraulisk dimensionering	34
7 Bärighetsdimensionering	37
7.1 Förutsättningar	37
7.2 Geologi, terrassmaterial och klimat	37
7.3 Trafiklast	41
7.3.1 Trafikklassbestämning enligt Trafikverkets metod	42
7.3.2 Trafikklassbestämning enligt Svensk Markbetong	47
7.4 Arbetsgång – bärighetsberäkning	48
8 Hydraulisk dimensionering	54
8.1 Markstenskonstruktion som fördröjningsmagasin	56
8.2 Beräkning av infiltrerande vattenmängd	59
8.3 Beräkning av maximalt behov av magasintjocklek	59
8.4 Avvattning av överbyggnaden	62
8.4.1 Avvattning till terrass	62
8.4.2 Avvattning via dräneringsrör	62
8.5 Erforderlig magasinshöjd med dimensionerande regnintensitet och varaktighet	66
8.6 Kontroll avvattningsskapacitet (tömningstid)	67
8.7 Arbetsgång – hydraulisk analys	68

9	Redovisning	70
10	Utförande	72
10.1	Arbetsplatsplanering	72
10.2	Undergrund/terrass	73
10.3	Geotextil	74
10.4	Överbyggnadslager	74
10.5	Materialskiljande lager	75
10.6	Inspektionsbrunn	77
10.7	Tjällyftning och tjällossning	77
10.8	Besiktning och egenkontroll	78
11	Drift och underhåll	80
11.1	Halkbekämpning	80
11.2	Igensättning av fogar	80
11.3	Igensättning av dränerande bundet bärlager	84
11.4	Igensättning av förstärkningslager	85
11.5	DoU intervaller	85
11.6	Teknisk livslängd	87
12	Bilagor	88
12.1	Grafisk bestämning av avvattningskapacitet	88
12.2	Nederbördsdata	90
12.3	Räkneexempel	93
12.3.1	Parkeringsplats 1	
	– Givet volym (d') för omhändertagande	93
12.3.2	Parkeringsplats 2	
	– Regnenveloper, översiktlig beräkning	99
12.3.3	Parkeringsplats 3	
	– Regnenveloper, fördjupad beräkning	104
12.4	Enhetskonvertering	108
13	Referenser	111

Färgpalett för olika material. Denna handbok innehåller beskrivande illustrationer. Färgerna nedan visar vilken typ av material som avses.

	Betongmarksten		Obundet bärlager		Asfalt
	Fogmaterial		Förstärkningslager		Delvis fyllt förstärkningslager
	Sättmaterial		Terrass		

1. Inledning

Urbaniseringen i Sverige har gjort att mängden hårdgjorda ytor ökar snabbt. Färre grönytor och fler hårdgjorda ytor förändrar det hydrologiska kretsloppet, minskar grundvattenbildningen i städerna och ändrar livsbetingelserna för växter och djur. Mer nederbörd i kombination med underdimensionerade dagvattensystem ökar mängden ytvatten. Det ökar i sin tur risken för översvämningar och materiella skador. Dessutom koncentreras föroreningar från mänsklig verksamhet i ytvattnet, som ofta rinner ut i närbelägna vattendrag.

Urbaniseringen under 1900-talet ökade snabbt behovet av infrastruktur för transport av varor och tjänster. Behoven medförde prioritering av låg anläggningskostnad, lång livslängd och låga drift- och underhållskostnader. Traditionellt används välgraderade material med hög andel finmaterial som är lättpackade, förlåtande och lättillgängliga. Denna typ av material är dock känsliga för vatten och tappar fort bärighet vid ökat vatteninnehåll. Som följd av detta prioriterades även så täta konstruktioner som möjligt samt avledning av vatten för avrinning till diken och eventuellt dagvattensystemet.

Traditionell byggteknik medför en enkel och billig konstruktion, men samtidigt utgör den enorma volymen av överbyggnader som årligen byggs en outnyttjad samhällsresurs. Genom att öppna upp överbyggnaden för infiltration av regnvatten kan, genom moderna byggmetoder och material, både mycket hög bärighet säkerställas samtidigt som stora mängder dagvatten kan magasineras och renas innan det leds till dagvattensystemet.

I Sverige har dränerande vägkonstruktioner endast provats i begränsad omfattning. Internationellt har dock tekniken haft stora framgångar, framför allt i länder med strängare nationella krav kring exploatering och dagvattenhantering. Internationell forskning har visat på många miljömässiga och ekonomiska fördelar, såsom:

- Fördröjning av flödestoppar vid intensiv nederbörd. Det avlastar dagvattensystemet betydligt.
- Upp till 100 procent infiltration av dagvatten. Det fördröjer eller förhindrar avrinningen och minskar risken för skador på intilliggande konstruktioner vid intensiv nederbörd.
- Reducerar eller eliminerar behovet av dräneringsledningar. Om dagvattnet kan exfiltreras till befintlig undergrund minskar behovet av dräneringsledningar som förbinder överbyggnaden med befintligt dagvattensystem.
- Eliminerar kvarstående vatten på ytan. Eftersom allt ytvatten infiltreras i överbyggnaden kommer inget kvarstående vatten samlas i ytliga svackor eller hjulspår.

- Bärighet som motsvarar traditionella överbyggnader. Moderna byggtekniker och material, kunnigt utförande och kontroll ger samma förutsättningar som traditionella överbyggnader med avseende på bärighet och livslängd.
- Vattenbalansen mellan luft och mark bibehålls på en naturlig nivå. Detta innebär att dränerande markstensbeläggningar inte bidrar till "Heat Island"-effekten på samma sätt som en tät, mörk asfaltbeläggning gör. Mängden vatten som avdunstar ökar till godo för lokalklimatet. Om ytan är permeabel kan markfukten avdunsta från ytan och därmed ge evaporativ kylning av zonen där människor vistas.
- Bidrar till grundvattenbildningen. Ett stort problem i större städer är sjunkande grundvattennivåer. Genom att låta magasinerat vatten långsamt exfiltrera via terrassen tillförs nytt vatten till grundvattnet på ett naturligt sätt.
- Vattenrening. Genom biodegradering renas vattnet på sin väg vidare ned i undergrunden.
- Tillväxten av mikroorganismer stimuleras. Mikroorganismer som använder exempelvis, kolväteföreningar för föda och reproduktion förökar sig genom att näringsämnen tillförs via infiltrationsvattnet.
- Graden av biodegradering ökar. De flesta av det moderna samhällets föroreningar, både organiska och oorganiska kemikalier, utsätts för nedbrytning (biodegradering) av enzymer genom mikroorganismers aktivitet. Ett exempel på organisk förorening som är biologiskt nedbrytbart är olja och drivmedelspill från trafiken. I stället för att koncentrera föroreningarna till recipienten bryts dessa ned lokalt.
- Öppna konstruktioner medför möjlighet för hög syreomsättning. Biodegradering bygger på mikrobiell metabolism/ämnesomsättning och kräver därför syre och vattentillgång. Öppna konstruktioner tillgodoser detta. Hög koncentration av syre har identifierats som en av de viktigaste faktorerna för biodegradering.
- Möjlighet för accelererad biodegradering. Graden av biologisk nedbrytning kan ökas avsevärt genom applicering av specialanpassade geotextilier i konstruktionen. Geotextilen är dränerande och släpper igenom vatten, medan organiska föroreningar fastnar. Med tiden bildas ett stort nätverk av växande bakterier och svampar till en biofilm som ytterligare ökar systemets reningsegenskaper.
- Filtrerar och fångar upp ej nedbrytbara föroreningar (exempelvis tungmetaller och sediment). Upp till 95 procent av dessa fångas upp i överbyggnadens övre delar, framför allt i sättmaterialet. Vid behov kan beläggningen lyftas och sättmaterialet ersättas med nytt material. Kontaminerat sättmaterial kan enkelt omhändertas på lämpligt sätt.

2. Samspel mellan grått, blått och grönt

Behovet av bostäder är stort, framförallt i storstäderna, och i jakten på byggbar mark blir namnlösa parker och allmänningar i allt större grad föremål för exploatering. Bostadsbyggande sker även i stor utsträckning genom förtätning av befintlig bebyggelse. Bostadsbebyggelse kräver vägar och torg för att tillgodose samhällets behov av service och transporter. Detta medför att grönområdena blir färre och färre i allt snabbare takt. Samtidigt kommer förändringar i klimatet att medföra mer och intensivare nederbörd framöver. Genom stadens hårdgjorda ytor sker ingen naturlig infiltration av regnvattnet.

Städernas förtätning ökar ytavrinningen, minskar naturliga avrinningsområden och ökar påfrestningarna på befintliga dagvattensystem som ofta inte mår med. Samtidigt eftersträvas en utveckling mot en mänskligare stad där växtlighet och gröna stråk har en naturlig plats i gaturummet. Med traditionell byggteknik har förhållandet mellan det gråa (hårdgjorda ytor), gröna (växtlighet) och blåa (dagvatten) förorsakat konflikt.

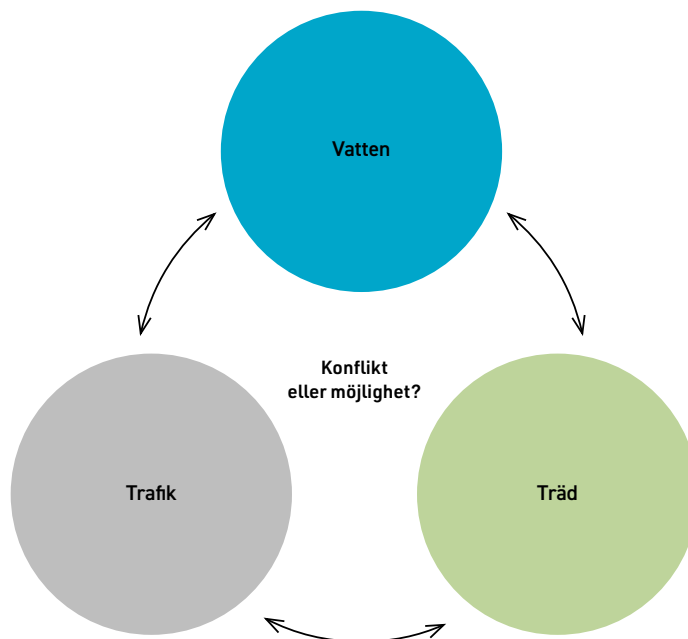
Inom det svenska VINNOVA finansierade projektet *"Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor"* (www.klimatsakradstad.se) har det undersökts hur traditionella vägkonstruktioner kan utvecklas så att dessa också ska kunna användas för att omhänderta dagvatten, samtidigt som de skapar bra betingelser för träd och annan växtlighet. Resultaten från projektet demonstrerar otvetydigt att det går att bygga överbyggnadskonstruktioner med hög bärighet som samtidigt fungerar som ett naturligt led i en hållbar dagvattenhantering. Dessutom ger det möjlighet för en väl fungerande etablering av träd och växtlighet.

Men samtidigt behöver vi ha en prioritering mellan grått, blått och grönt om vi vill maximera vissa förutsättningar. Till exempel är brist på rotningsbar volym ett mycket vanligt problem för stadsträd som växer i traditionellt

använda täta material för bär- och förstärkningslager. För att träden ska kunna utvecklas till trivselskapande element i gatumiljö så har s k skelettjord utvecklats [25]. Skelettjord är vanligtvis en blandning av grov makadam (100–150 mm) och fukt- och näringshållande växtjord som ger utmärkta tillväxtbetingelser för stadsträd. Däremot visar belastningsförsök att denna typ av konstruktion har begränsningar med avseende på tillståndsutveckling jämfört med andra konstruktioner (som möjligtvis inte har samma positiva effekt på tillväxten) [6]. Därför är det viktigt att väga de förutsättningar man vill maximera mot exempelvis hur mycket trafik som ska tillåtas på samma konstruktion. I förlängningen är det därför viktigt att trafikklasserna används för det de är avsedda för – att beskriva belastningen på konstruktionerna. De ska inte användas godtyckligt som en säkerhetsfaktor för att ta höjd för bristande utförande eller brist på information om aktuell trafik.

Figur 2.1

Samspel mellan grått, blått och grönt, konflikt eller möjlighet?



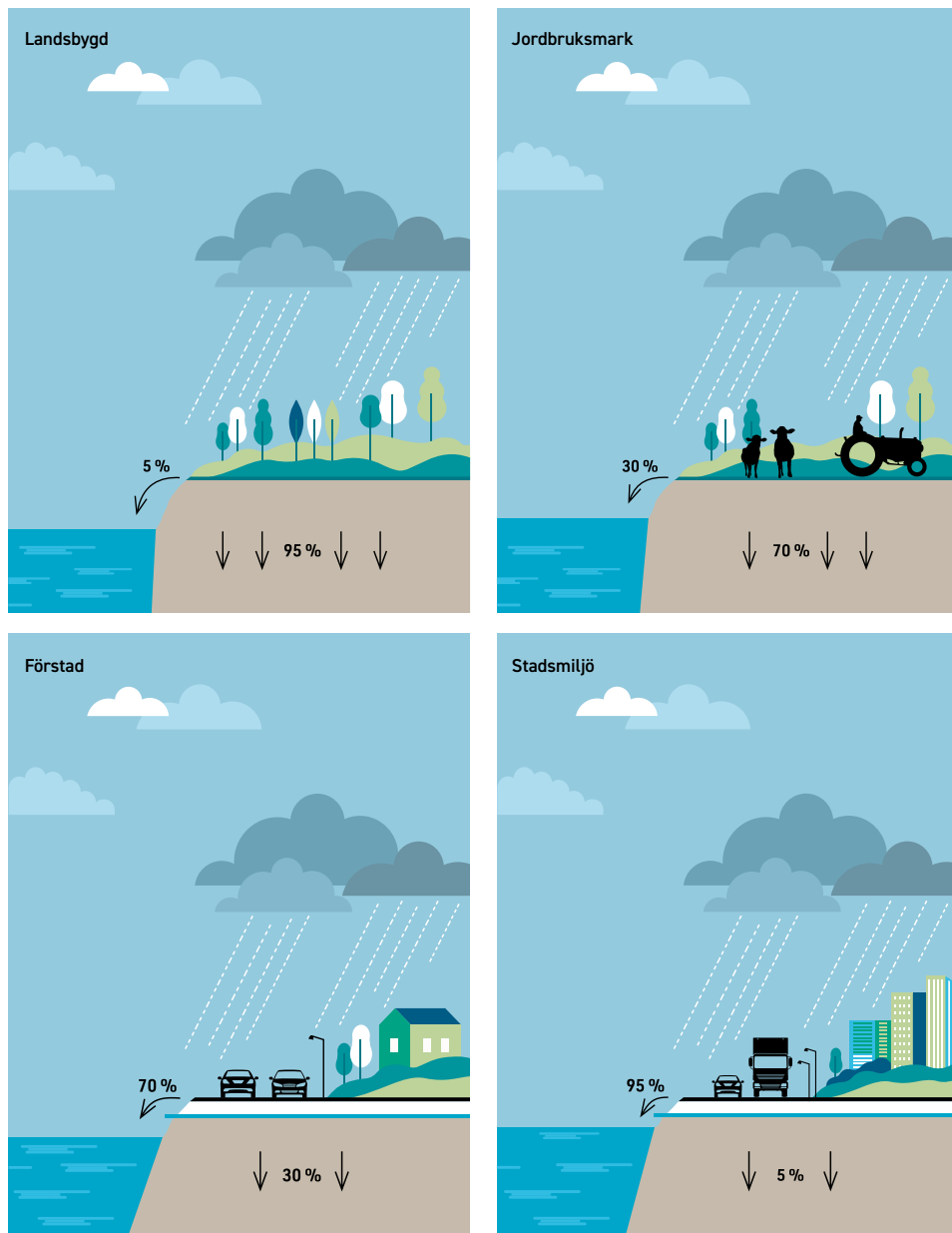
3. Rening av dagvatten

Urbaniseringen och behovet av hårdgjorda ytor har medfört att koncentrationen av föroreningar i dagvattnet ökat. Föroreningar kommer från en mängd olika källor från mänsklig aktivitet. Hållbar dagvattenhantering innebär att man så långt som möjligt fördröjer och reducerar dagvattenavrinningen som uppstår i våra samhällen. Det minskar i sin tur risken för skador vid översvämningar minskar och utsläpp av föroreningar till recipient. Det finns många olika lösningar för att ta hand om dagvatten så nära källan som möjligt (t ex växtbäddar och trädplanteringar, infiltration av takvatten på gräsytor, översvämningssytor, dränerande beläggningar, etc). Dränerande markstensbeläggningar är ett kostnadseffektivt komplement i fördröjningskedjan. Det beror på att de både kan fördröja och magasinera stora mängder dagvatten samtidigt som de renar det från föroreningar och fungerar som hårdgjord yta för samhällets behov av transporter till en mycket låg kostnad.

Om t ex minst 20 mm nederbörd kan omhändertas vid varje enskilda nederbördstillfälle, motsvarar detta 90 procent av årsnederbörden i Stockholm [34], [43]. I de konstruktioner som presenteras i denna skrift kan 20 mm nederbörd magasineras i ett förstärkningslager som är endast 80 mm tjock. Ur ett bärighetsperspektiv krävs ofta tjockare förstärkningslager än 80 mm, vilket innebär att kapaciteten för fördröjning av dagvatten normalt är avsevärt större än 20 mm nederbörd.

Det finns ett antal naturliga processer för vattenrening som kan utnyttjas i ett system för hållbar dagvattenhantering. I dränerande markstensbeläggningar utnyttjas främst [16], [28]:

- *Filtrering:* Föroreningar bundna till fasta partiklar kan separeras från infiltrerande vatten. Separationen eller filtreringen sker i jord (terrass), obundna material (överbyggnad) eller via en geotextil.
- *Adsorption:* Kemisk vidhäftning av föroreningar till ytan av fasta partiklar
- *Biodegradering:* Nedbrytning av materia i enkla beståndsdelar genom biologiska processer, exempelvis svampar eller bakterier som använder kolväten som föda för egentillväxt och reproduktion
- *Sedimentation:* Sedimentation är en primär reningsprocess i dränerande beläggningar. Föroreningar är ofta bundna till suspenderade partiklar. Sedimentation uppstår genom reduktion av flödes hastighet till en nivå där partiklar (och föroreningar) faller ut.



Figur 3.1 Illustration av urbaniseringens påverkan på ytvavrinningen [2].

Tabell 3.1 beskriver några föroreningar i stadsmiljö och hur dessa kan reduceras med hjälp av dränerande markstensbeläggningar. Denna handbok ger ingen detaljerad beskrivning av mekanismerna kring rening av dagvatten. För en introduktion i området se vidare till exempel [10], [23], [29].

Tabell 3.1

Reningspotential för dränerande markstensbeläggningar [23], [29].

Förorening	Reduktion (procent)	Reningsprocess	Vanliga föroreningskällor
Sediment/partiklar (dispergerade)	60 – 90	Sedimentering, filtrering	Trafik, jorderosion, halkbekämpning
Fosfor	50 – 90	Sedimentering, biodegradering m fl	Atmosfärisk deposition, vegetation/ landskapsunderhåll, jorderosion, tvättmedel
Kväve	65 – 80	Sedimentering, biodegradering m fl	Tvättmedel, jorderosion, vegetation/landskapsunderhåll, fekalier
Tungmetaller	60 – 95	Sedimentering, adsorption, filtrering m fl	Atmosfärisk deposition, trafik, korrosion (exempelvis takplåt), kemisk halkbekämpning
Organiska föroreningar (kolväten)	70 – 90	Biodegradering	Trafik (kolväten), vegetation/landskapsunderhåll



4. Typkonstruktioner

Traditionella överbyggnadskonstruktioner har i princip en huvudfunktion; att fungera som fundament för transporter från punkt A till B på ett så ekonomiskt, komfortabelt och hållbart sätt som möjligt. Tekniskt innebär detta rätt bärighet för förväntad trafik, rätt investeringskostnad, liten miljöpåverkan, lång livslängd och låg drift- och underhållskostnad. Numera fyller beläggningen i stadsmiljöer även andra viktiga funktioner, som att vara estetiskt komplement till upplevelsen av platsen eller att med hjälp av färg, kontraster, mönster eller taktila egenskaper bidra till en säker miljö att vistas i. I dränerande överbyggnadskonstruktioner introduceras ytterligare en huvudfunktion; att dränera och fördröja dagvatten. Dessutom bidrar de till att rena dagvattnet och bidra till grundvattenbildningen.

Dränerande överbyggnader delas in i två huvudgrupper: Dränerande obunden konstruktion (System I) och dränerande bitumenbunden konstruktion (System II). Båda systemen omhändertar dagvatten via infiltration genom beläggningen. Utöver huvudgrupperna finns ytterligare ett system (System III). Det består av en bitumenbunden konstruktion med tät markstensbeläggning där dagvatten leds in i konstruktionen via brunnar eller annan typ av sidointag. Varje huvudgrupp delas in i tre undergrupper (F, P, I) beroende på hur mycket vatten som exfiltreras till befintlig undergrund eller leds till dagvattensystemet (eller annan recipient). Beteckningarna F, P och I definieras av; Full infiltration, Partiell infiltration och Ingen infiltration i terrassen. För System III (bitumenbunden konstruktion med tät markstensbeläggning) rekommenderas inte full- eller partiell infiltration av dagvatten till undergrund. Det beror på att vid intensiv nederbörd kan höga flöden uppstå vid brunnar och intag, vilket gör att dagvattnet inte kan distribueras ut jämt till terrassen. Samma resonemang gäller även förmågan att bryta ned föroreningar. I System III koncentreras eventuella föroreningar till området närmast intag eller brunn, och överbyggnadens förmåga att bryta ned dessa kan då minska kraftigt.

System I, II och III är en anpassning av befintliga konstruktionstyper framtagna av bl a Interpave (Storbritannien)[2], ICPI (USA) [5], Belgien [9] och Sverige [6], [25]. Alla system har testats utförligt och validerats i full skala inom ramen för det svenska forskningsprojektet *"Klimatsäkrade Systemlösningar för Urbana Ytor"* [3], [6]. En sammanfattning av de olika konstruktionstyperna och deras beteckning ges i tabell 4.1.

Observera att en viktig rekommendation från Vinnovaprojektet *"Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor"* var att obundet material till bärlager ska vara i sorteringen 2/32 och för förstärkningslager i sorteringen 2/90. För att underlätta beskrivning och upphandling används i *AMA Anläggning 20* beteckningen 4/90 Gc 80-20 och 4/90 Gc 80-20 enligt SS-EN 13242 för dessa material. Denna sortering har relativt vida gränsvärden

(min och max kurvor) och kan skenbart ge intrycket av att material under 4 mm inte ska finnas med. Av bärighetsskäl är mängden material mellan 2 och 4 mm viktig och som riktvärde bör minst 10 procent passera 4 mm sikt (jämför tabell 5.2). I denna handbok har vi valt att använda beteckningar enligt *AMA Anläggning 20*. Detta innebär dock inte ett avsteg från Vinnovaprojektets rekommendationer.

Tabell 4.1
Systembeskrivning och beteckningar för olika konstruktionstyper.

Systembeskrivning och beteckningar för olika konstruktionstyper							
System	I			II			III
Beteckning	DO(F)	DO(P)	DO(I)	DB(F)	DB(P)	DB(I)	TB(I)
Dränerande eller Tätt markstensbeläggning	D	D	D	D	D	D	T
Bitumenbundet eller Obundet bärlager	O	O	O	B	B	B	B
Infiltration i terrass: Full/Partiell/Ingen	F	P	I	F	P	I	I

Beskrivning

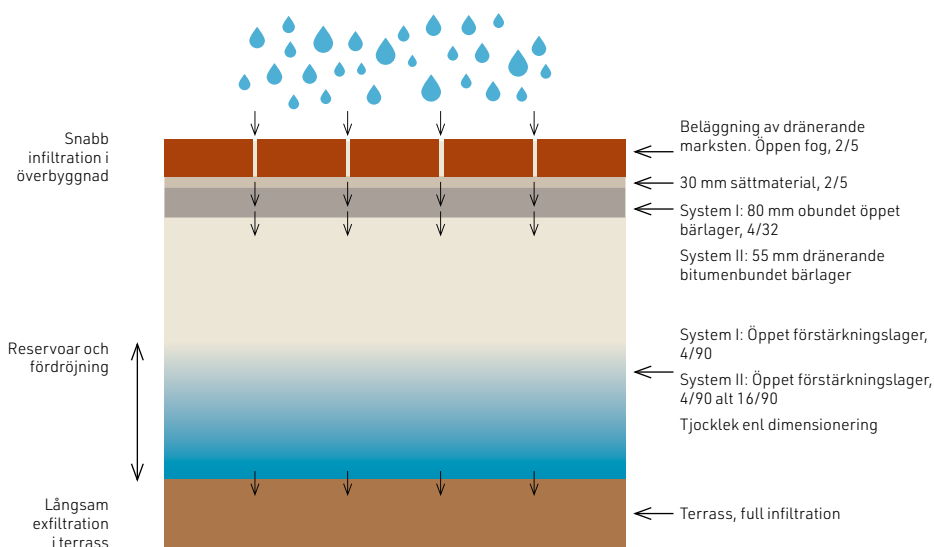
System I	DO(F): Dränerande Obunden överbyggnad, Full infiltration i terrass
	DO(P): Dränerande Obunden överbyggnad, Partiell infiltration i terrass
	DO(I): Dränerande Obunden överbyggnad, Ingen infiltration i terrass
System II	DB(F): Dränerande Bitumenbunden överbyggnad, Full infiltration i terrass
	DB(P): Dränerande Bitumenbunden överbyggnad, Partiell infiltration i terrass
	DB(I): Dränerande Bitumenbunden överbyggnad, Ingen infiltration i terrass
System III	TB(I): Tätt Bitumenbunden överbyggnad, Ingen infiltration i terrass

4.1 System I och II: Full infiltration, DO(F) och DB(F)

I konstruktioner av typ DO(F) och DB(F) infiltreras regn genom markstensbeläggningen och vidare ner genom överbyggnaden för att så småningom nå undergrunden. Fördröjning och lagring sker i konstruktionen och till viss del i den underliggande marken. Hur mycket vatten som kan fördröjas beror på magasinets storlek d v s förstärkningslagrets tjocklek. Hur länge vattnet fördröjs i konstruktionen beror på terrassmaterialens hydrauliska egenskaper. Ytavrinning sker bara om nederbördens intensitet överskrider beläggningens infiltrationsförmåga, d v s om magasinet är underdimensionerat. Systemet kallas ibland på engelska för "zero discharge" eftersom inget vatten från konstruktionen leds vidare till dagvattensystem eller recipient. Det leder till en kostnadseffektiv konstruktion eftersom det inte krävs några dräneringsrör eller andra anslutningar. Vid normal till låg trafikbelastning används den mer ekonomiska obundna konstruktionstypen DO(F). I situationer som kräver mycket hög bärighet kan konstruktioner av typen DB(F) användas (bitumenbundet dränerande bärlager).

Figur 4.1

Principskiss, System I och II: Full infiltration, DO(F) och DB(F).

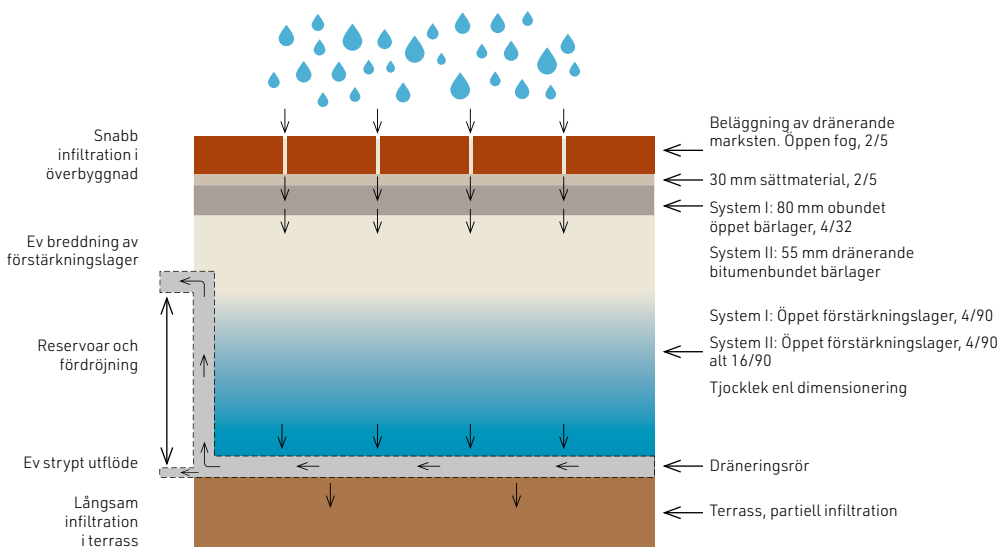


4.2 System I och II: Partiell infiltration, DO(P) och DB(P)

Konstruktioner av typ DO(P) och DB(P) används i de fall undergrunden inte klarar att ta emot allt infiltrerande vatten. För att säkerställa att tömningstiden inte blir orimligt lång (> 48 timmar) läggs dräneringsrör in i överbyggnadens förstärkningslager. På så sätt kan kvarblivet vatten, efter fördröjning och partiell infiltration i terrassen, ledas vidare till det kommunala dagvattennätet eller intilliggande fördröjningsanläggningar. Vid normal till låg trafikbelastning används den mer ekonomiska obundna konstruktionstypen DO(P). I situationer som kräver mycket hög bärighet kan konstruktioner av typen DB(P) användas (bitumenbundet dränerande bärlager).

Figur 4.2

Principskiss, System I och II: Partiell infiltration, DO(P) och DB(P).

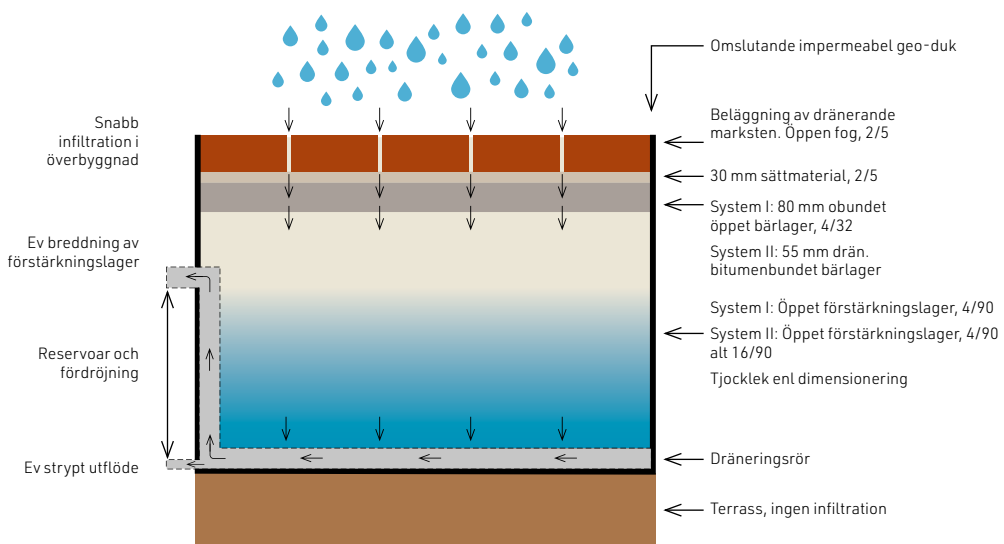


4.3 System I och II: Ingen infiltration, DO(I) och DB(I)

I konstruktioner av typ DO(I) och DB(I) hålls allt vatten, som infiltrerar genom markstensbeläggningen, kvar i ett vattentätt magasin som bildas genom att en impermeabel geoduk omsluter konstruktionen. Denna konstruktion är lämplig när terrassen har mycket låg infiltrationsförmåga (hydraulisk konduktivitet), låg bärighet, eller när infiltration av ytvatten från vägområdet inte är önskvärd (som exempelvis ovanpå ett grundvattenmagasin). Dessa konstruktionstyper är också lämpligt för förorenade platser där man inte vill orsaka ökat läckage av föroreningar p g a tillflöde av vatten. I denna konstruktion används dräneringsrör som fördröjer och leder bort vatten från magasinet till omgivande dagvattennät, reningsverk eller liknande. Systemet kan även användas för att samla vatten till bevattning eller andra ändamål. Vid normal till låg trafikbelastning används den mer ekonomiska obundna konstruktionstypen DO(I). I situationer som kräver mycket hög bärighet kan konstruktioner av typen DB(I) användas (bitumenbundet dränerande bärlager).

Figur 4.3

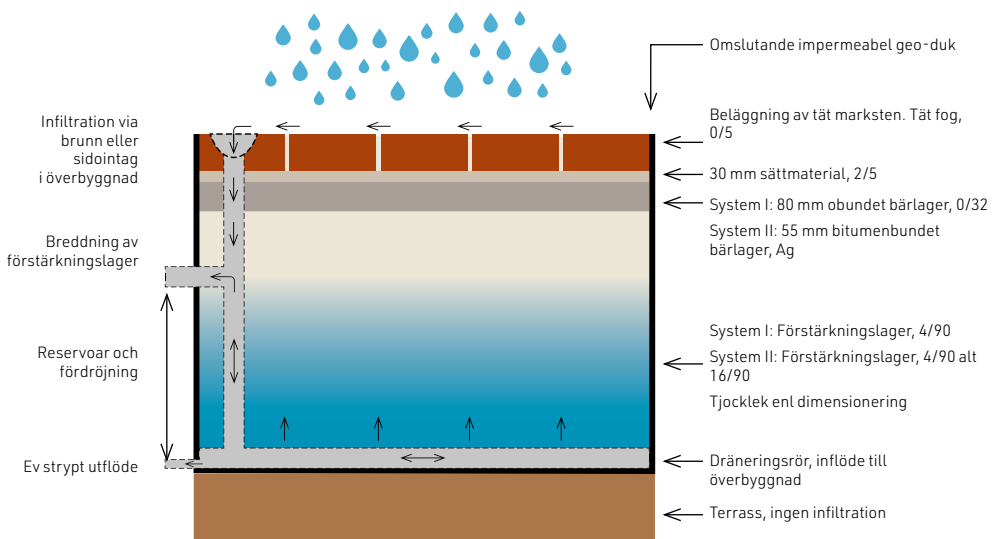
Principskiss, System I och II: Ingen infiltration, DO(I) och DB(I).



4.4 System III: Ingen infiltration, TB(I)

System III innebär att en impermeabel markstensbeläggning avvattnas genom att ytvattnet leds till brunnar eller rännor istället för att infiltreras genom beläggningen. Från brunnarna leds dagvattnet in i konstruktionen (förstärkningslagret) via dräneringspunkter. Förstärkningslagret används som fördröjande magasin. Denna typ av konstruktion bör dimensioneras hydrauliskt så att ingen infiltration ska ske till terrassen. Om det inte finns någon risk för att bärigheten i terrassen påverkas på grund av stående vatten, kan omslutande impermeabel geoduk uteslutas. Om geoduken utesluts får det inte finnas någon närliggande dricksvattentäkt eller föroreningar i terrassen. Dagvatten från intilliggande områden kan även tas in via sidoanläggningar. Eftersom infiltrationen inte sker via beläggningen kan bundna bärlager av typ Ag användas. Detta ger möjlighet för mycket hög bärighet och konstruktionen kan därför användas i tungt trafikerade miljöer på samma sätt som konstruktioner av typ II (DB(F/P/I)).

Figur 4.4
Principskiss, System III: Ingen infiltration, TB(I).



4.5 Val av typkonstruktion

Tekniskt beslut om typkonstruktion fattas utifrån fem kriterier:

1. trafikklass (bundet eller obundet bärlager)
2. hydraulisk konduktivitet i terrassen (infiltrationsförmåga)
3. grundvattenytans högsta nivå
4. föroreningar i undergrunden
5. riskbedömning

Det kan även finnas andra överväganden som kan påverka det slutliga valet av konstruktion. Vid lång byggtid kan konstruktionen exempelvis behöva trafikeras av byggtrafik innan färdigställande och då kan behovet av ett trafikerbart bärlager uppstå. De olika konstruktionstyperna ger också olika anläggningskostnader vilket kan påverka slutligt val av konstruktion. Tabell 4.2 visar en sammanställning av rekommendationer för val av typkonstruktion ur teknisk synvinkel.

Tabell 4.2

Rekommendationer för val av konstruktionstyp.

Rekommendationer för val av konstruktionstyp								
System		I			II			III
Beteckning		DO(F)	DO(P)	DO(I)	DB(F)	DB(P)	DB(I)	TB(I)
Hydraulisk konduktivitet i terrass, k (m/s)	$10^{-6} - 10^{-3}$	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	$10^{-8} - 10^{-6}$	Nej	Ja	Ja	Nej	Ja	Ja	Ja
	$10^{-10} - 10^{-8}$	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Ja
Högsta grundvattennivå närmare än 0,6–1,0 m från befintlig terrass		Nej	Nej	Ja	Nej	Ja	Ja	Ja
Föroreningar i undergrund/närhet till vattentäkt		Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja	Ja
Trafikklass G – 2		Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Trafikklass 3 – 4		Nej	Nej	Nej	Ja	Ja	Ja	Ja



4.6 Val av konstruktion – trafikklass

Korrekt bedömning av trafiklasten är av avgörande betydelse för konstruktionens funktion och tillståndsutveckling (se vidare avsnitt 7.3). Konstruktionerna i System I, II och III har testats och utvärderats i full skala under typiska svenska förhållanden [6]. Resultaten från försöken visar lika god bärighet och tillståndsutveckling som för traditionella konstruktioner. Konstruktioner av System I är en obunden konstruktion och används lämpligast upp till trafikklass 2. Konstruktioner av System II och III, är förstärkta med ett bundet bärlager av dränerande asfalt eller AG, och kan därför användas upp till trafikklass 4.

Bundna bärlager ger även möjlighet att använda andra typer av förstärkningslager mera lämpade för exempelvis trädplantering. Normalt rekommenderas 4/90 (Gc 80–20 enligt SS-EN 13242) som förstärkningslagermaterial¹. Denna sortering har mycket hög bärighet samtidigt som porositet, permeabilitet och dagvattenmagasinerande förmåga är hög. 4/90 kan dock ge en porstorleksfördelning som inte alltid är optimal för effektiv rottillväxt. Material i fraktionen 4/90 har hög porositet men många mindre porer. I en konstruktion med bundet bärlager kan även material av typ 16/90 användas. Materialet har marginellt högre porositet än 4/90 men minsta porstorleken är större. 16/90 är därför bättre lämpad för optimal rottillväxt. Man ska dock vara medveten om att ur ett bärighetsperspektiv är 4/90 och 16/90 inte direkt utbytbara och att bärigheten vanligtvis sjunker något vid bruk av 16/90 (jämfört med 4/90). Denna effekt har dock inarbetats i tabell 7.8. I System III är markstensbeläggningen av avgörande betydelse för konstruktionens bärighet och kan inte utelämnas eller ersättas av andra material. Dimensioneringstabellen (tabell 7.8) är endast giltig för de materialtyper och tjocklekar som beskrivits i denna text.

4.7 Val av konstruktion – hydraulisk konduktivitet i terrass

Om terrassens infiltrationsförmåga (hydrauliska konduktivitet) är låg och inte kan ta emot de vattenmängder som infiltrerar ner genom konstruktionen måste dränering anläggas. Annars kan vatten bli stående i konstruktionen under en längre period. För terrassmaterial med viss infiltrationsförmåga faller valet då på system som endast tillåter partiell infiltration (DO(P) eller DB(P)). För mycket täta terrassmaterial används system där ingen infiltration tillåts

¹ Inom Vinnovaprojektet "Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor" rekommenderades sorteringarna 2/90 och 2/32 för förstärknings- och bärlagermaterial. För att underlätta beskrivning och upphandling används i AMA Anläggning 20 beteckningen 4/90 Gc 80–20 och 4/32 Gc 80–20 enligt SS-EN 13242 för dessa material.

(DO(I), DB(I) eller TB(I)). Man bör också undvika vattenflöden genom förorenad mark eftersom det kan leda till att föroreningarna sprids vidare. Vid förorenad mark bör en konstruktion med omslutande impermeabel geotekstil väljas. Stående vatten kan reducera konstruktionens bärrädhg och i fall med hög trafikbelastning bör tömningstiden (d v s maximal tid för magasinering av vatten) begränsas till ca 48 timmar.

I Sverige används flera olika klassificeringssystem för jordmaterial. De är grundade på antingen jordarternas bildningssätt, deras sammansättning eller på deras tekniska egenskaper. Vägledning för klassificering återfinns i [1].

För uppskattning av terrassens hydrauliska konduktivitet (infiltrationsförmåga) rekommenderas fältmätning med s k dubbelringinfiltrimeter [7], [8], [9]. På grund av risken att förändra materialets egenskaper i samband med provtagning rekommenderas laboriemätning av hydraulisk konduktivitet endast i undantagsfall [5]. Överslagsvärden på hydraulisk konduktivitet för olika jordarter återges i tabell 4.3.

Tabell 4.3

Riktvärden för permeabilitet i morän- och sedimentjordar [1].

Moräner		Sediment	
Jordart	Permeabilitet (m/s)	Jordart	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
Grusig morän	$10^{-5} - 10^{-7}$	Fingrus	$10^{-1} - 10^{-3}$
Sandig morän	$10^{-6} - 10^{-8}$	Grovsand	$10^{-2} - 10^{-4}$
Siltig morän	$10^{-7} - 10^{-9}$	Mellansand	$10^{-3} - 10^{-5}$
Lerig morän	$10^{-8} - 10^{-10}$	Finsand	$10^{-4} - 10^{-6}$
Moränlera	$10^{-9} - 10^{-11}$	Grovsilt	$10^{-5} - 10^{-7}$
		Mellansilt-finsilt	$10^{-7} - 10^{-9}$
		Lera	$< 10^{-9}$

4.8 Val av konstruktion – närhet till grundvattenyta

Vid projektering bör grundvattenytans nivå beaktas. Den bör inte ligga närmare än ca 0,6 till 1 m under terrassytan vid val av konstruktionstyper med full eller partiell infiltration i terrassen [2]. Då kan eventuella föroreningar långsamt infiltreras och brytas ned i övre delar av terrassen utan att de når grundvattnet. Om en oförutsedd händelse uppstår och grundvattenytans nivå höjs och hamnar i överbyggnaden kommer terrassens dränerande funktion och överbyggnadens magasinerande funktion att minska. Vid bestående grundvattenhöjning reduceras även terrassen och överbyggnadens bärlighet. Konstruktionens bärlighet påverkas i samma utsträckning som traditionella konstruktioner. Avstånd till grundvattenytan minskar risken för eventuell förlust av bärlighet, magasinerande kapacitet samt filtrerande/renande förmåga. För konstruktionstyper med ingen infiltration i terrassen bör grundvattennivån ej ligga närmare än ca 0,3 m [2], [10].

4.9 Val av konstruktion – föroreningar i undergrund

Om man överväger dränerande markstenskonstruktioner i områden med misstänkta föroreningar i undergrunden bör detta utvärderas och en riskbedömning genomföras. Riskbedömningen bör genomföras av specialister inom miljögeoteknik. Om konstruktionen byggs på förorenad mark finns det anledning att undvika ökat vattenflöde i marken eftersom det kan leda till att föroreningarna mobiliseras och sprids vidare. I dessa fall bör en konstruktion som inte tillåter infiltration väljas (DO(I), DB(I) eller TB(I)). Detta gäller framförallt om konstruktionen byggs i omedelbar närhet av en vattentäkt eller vattenskyddsområde. Det är Länsstyrelsen eller kommunen som bestämmer om ett område ska vara ett vattenskyddsområde.

4.10 Val av konstruktion – riskbedömning

Förutom rent tekniska förutsättningar bör även en riskbedömning och konsekvensbeskrivning göras in vid val av system. Exempelvis vid full infiltration används inga dräneringssystem och under extrema förhållanden kan överbyggnaden överfyllas. Risken för detta måste övervägas och beskrivning av eventuella konsekvenser för närliggande byggnader, recipient, erosion och människors hälsa och säkerhet måste göras. Om den dränerande markstenskonstruktionen ingår i en större kedja av åtgärder bör riskvärderingen minst innehålla följande avväganden [45]:

- Översvämningssytor och vägar vid extrema förhållanden
- Effekter i konstruktionen av extrema förhållanden exempelvis bärighetsförlust, skador och erosion
- Effekt av föroreningar i dagvattnet
- Effekter av snabb igensättning av systemet exempelvis p g a stort inflöde av sediment från intilliggande ytor under extrema förhållanden
- Effekter och risker av bristande drift och underhåll
- Effekter på intilliggande byggnader och anläggningar
- Effekter av erosion nedströms
- Hälsa och säkerhet



5. Material

Referensvärden för överbyggnadsmaterial som ingår i dränerande öppna markstenskonstruktioner sammanställs i tabell 5.2. Med referensvärden menas de värden som slagits fast i projektet *"Klimatsäkrade ytor för urbana miljöer"* och ska därför betraktas som en branschöverskridande överenskommelse. Dessa värden ligger till grund för framtagna bärighetsberäkning och hydraulisk dimensionering. I kommunala projekt ska motsvarande eller bättre eftersträvas.

5.1 Dränerande markstensbeläggning

Dränerande markstensbeläggning kan tekniskt beskrivas som en halvelastisk beläggning eftersom den är både styv och elastisk. Till skillnad från asfalt består markstensbeläggningsen av styva enheter som är förbundna med varandra av elastiska fogar av krossat obundet material. Beläggningsen har lång livslängd, precis som betong i allmänhet. Förutom att fungera som lastspridande material, säkerställer även beläggningsens fog att dagvatten kan dränera ned till underliggande lager. Vatten dräneras antingen genom fogen eller via perkolationsöppningar. Större fogarea ger initialt något högre infiltrationskapacitet men ger samtidigt lägre lastspridande förmåga. För trafikbelastade ytor bör tillgänglig fogarea vara 8–10 procent. För obelastade ytor kan tillgänglig fogarea för infiltration ökas till ca 20 procent vid behov. Den absolut viktigaste faktorn för beläggningsens infiltrationskapacitet är dock fogmaterialets infiltrationsförmåga (se vidare avsnitt 5.2 och 11.2) [19].

Enligt brittiska byggnadsregler sätts minimum infiltrationskapacitet för ny beläggning till 2 500 mm/h [2], [10]. Jämfört med nederbördsintensiteter som förekommer i Sverige är detta ett mycket högt värde som även kompenserar för avtagande infiltrationsförmåga över tid (se avsnitt 12.2). De riktlinjer för kornstorleksfördelning och permeabilitet som ges i denna handbok resulterar dock normalt till en infiltrationskapacitet för beläggningsen som väl överstiger 2500 mm/h. Inom projektet *"Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor"* uppmättes beläggningsarnas infiltrationskapacitet till mellan 10 000 – 15 000 mm/h [7]. Även vid mycket kraftig igensättning och bristande underhåll kommer fogarnas dräneringsförmåga väl motsvara dimensionerande nederbördsintensitet (se vidare avsnitt 11.2).

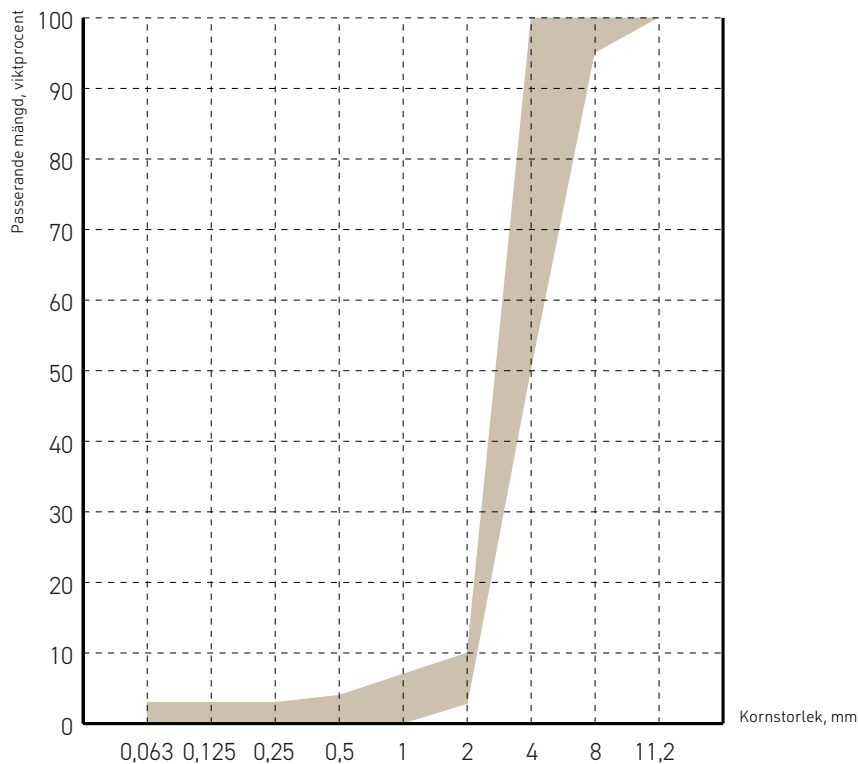
Dränerande betongmarksten tillverkas enligt SS-EN 1338 och finns i ett flertal format. Slutligt val av dränerande betongmarksten bör göras i samverkan med tillverkaren.

5.2 Fog- och sättmaterial

I en dränerande markstensbeläggning används samma material till fog och sättlager. Fog- och sättmaterial ska bestå av korn från bergarter som inte vittrar eller nöts under belastning av trafik. Utöver de egenskaper en traditionell fog och fogmaterial har, ska fogen i en dränerande markstensbeläggning ha dränerande egenskaper som bibehålls över tid. Fog- och sättmaterialet ska bestå av krossat obundet material i fraktionen 2/5 enligt tabell 5.1 och figur 5.1. Kornkurvan motsvarar *AMA Anläggning* DCG/1. Materialet ska ha en porositet större än 35 procent. Hydraulisk konduktivitet för 2/5 är normalt mycket hög. Referensvärdet för hydraulisk konduktivitet är $k = 1,0 \times 10^{-2}$ m/s. Samtliga referensvärden för överbyggnadsmaterial sammanfattas i tabell 5.2.

Figur 5.1

Kornkurva för fog- och sättmaterial till dränerande beläggningar.



Tabell 5.1

Kornstorleksfördelning för fog- och sättmaterial till dränerande beläggningar.

Kornstorleksfördelning för fog- och sättmaterial									
Sikt, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11,2
Max procent	3	3	3	4	7	10	100	–	–
Min procent	–	–	–	–	0	3	50	95	100

5.3 Obundet bär- och förstärkningslagermaterial

För dränerande markstensbeläggningar i System I (se tabell 4.1) består bärlagret av krossat obundet material i fraktionen 4/32 Gc 80–20 enligt SS-EN 13242. Porositet ska vara större än 25 procent.

Eftersom mängden finmaterial påverkar materialets dräneringsförmåga i stor utsträckning är maximal fillerhalt är 2 procent. Referensvärdet för permeabilitetskoefficienten är $1,0 \times 10^{-2}$ m/s. Utöver dessa krav ska bärlagermaterial uppfylla kraven enligt Trafikverkets publikation *TRVK10 – Obundna lager* [17]. Kornstorleksfördelning ska deklarerars SS-EN 13242 och ska ha en kurva enligt tabell *AMA DCB.33/1*. Observera att av bärighetsskäl är mängden material mellan 2 och 4 mm viktig. Riktvärdet för passerande mängd vid 4 mm sikt bör vara minimum 10 procent. Materialet ska inte vara tvättat. Referensvärden för obundet bärlagermaterial ges av tabell 5.2 och kornstorleksfördelning ges av tabell 5.3.

Förstärkningslagermaterial för System I (obunden konstruktion) utgörs av obundet krossat material i fraktionen 4/90 Gc 80–20 enligt SS-EN 13242 och för System II och III av fraktionen 4/90 eller 16/90. Förstärkningslagermaterial ska ha porositet större än 25 procent för fraktionen 4/90 och porositet större än 3 procent i fraktionen 16/90. Max fillerhalt är 2 procent. Hydraulisk konduktivitet för obundet förstärkningslagermaterial har referensvärdet $1,0 \times 10^{-3}$ m/s. Utöver dessa krav ska förstärkningslager uppfylla kraven enligt Trafikverkets publikation *TRVK10 – Obundna lager* [17]. Kornstorleksfördelning ska deklarerars SS-EN 13242 och ska ha en kurva enligt tabell *AMA DCB.24/1*. Observera att av bärighetsskäl är mängden material mellan 2 och 4 mm viktig. Riktvärdet för passerande mängd vid 4 mm sikt bör vara minimum 10 procent. Materialet ska inte vara tvättat. Referensvärden för obundet förstärkningslagermaterial ges av tabell 5.2 och kornstorleksfördelning ges av tabell 5.4.

Tabell 5.2

Referensvärden för obundna överbyggnadsmaterial [7], [30], [31].

Referensvärden för obundna överbyggnadsmaterial				
	Förstärkningslager		Bärlager	Fog- och sättmaterial
Sortering	4/90 ⁽¹⁾	16/90	4/32 ⁽²⁾	2/5
Referensvärde hydraulisk konduktivitet ⁽³⁾	1,0x10 ⁻³ m/s		1,0x10 ⁻² m/s	1,0x10 ⁻² m/s
Tillgänglig porvolym ⁽³⁾	>25 %	>35 %	>25 %	>35 %
Max fillerhalt	2 %		2 %	3 %
Max halt < 2 mm	5 %		5 %	10 %
Min halt < 4 mm ⁽⁹⁾	10 %	-	10 %	-
LA ⁽⁴⁾	(7)		(7)	< 20 ⁽⁶⁾
M _{DE} ⁽⁵⁾	(7)		(7)	< 15 ⁽⁶⁾
Bärighet vid plattbelastning Ev2 ^{(7), (8)}	> 140 MPa			-

(1) Enligt SS-EN 13242 och AMA Anläggning 20 benämns sorteringen som 4/90 G_c 80-20.

(2) Enligt SS-EN 13242 och AMA Anläggning 20 benämns sorteringen som 4/32 G_c 80-20.

(3) Med referensvärden avses värden fastställa i projektet "Klimatsäkrade ytor för urbana miljöer."

Dessa värden ligger till grund för framtagna dimensionering och bör eftersträvas i kommunala projekt.

(4) Motstånd mot fragmentering uppmätt med Los Angeles metoden enligt SS-EN 13242.

(5) Krav på nötningssegenskaper enligt SS-EN 13242 uppmätt med micro-Deval metoden.

(6) Rekommendationerna är en anpassning av Belgiska nationella krav [20], och kan frångås efter utredning.

(7) Värden enligt Trafikverkets krav [17], [46].

(8) Uppmärksamhet bör fästas vid att det oftast krävs fler överfarter än vad AMA anger för att säkerställa god komprimering.

(9) Observera att av bärighetsskäl är mängden material mellan 2 och 4 mm viktig.

Riktvärdet för passerande mängd vid 4 mm sikt bör vara minimum 10 procent.

Tabell 5.3
Kornstorleksfördelning för obundet bärlager under
dränerande markstensbeläggning.

Kornstorleksfördelning för obundet bärlager								
Sikt, mm	0,063	2	4	5,6	8	16	31,5	45
Max %	2	5	20	31	43	68	99	–
Min %	–	–	0	10	22	48	80	100

Tabell 5.4
Kornstorleksfördelning för obundet förstärkningslager under
dränerande markstensbeläggning.

Kornstorleksfördelning för obundet förstärkningslager										
Sikt, mm	0,063	2	4	8	16	31,5	45	63	90	125
Max %	2	5	20	35	54	78	88	93	98	–
Min %	–	–	–	10	26	42	50	65	80	100

5.4 Dränerande bundet bärlager

I System II utgörs bärlagret av dränerande bitumenbundet material (till exempel ABD) eller dränerande cementstabiliserat material. ABD har normalt porositet (hålrumshalt enl Trafikverket) mellan 18–26 procent. ABD bör uppfylla kraven enligt Trafikverkets publikation *”Krav, Bitumenbundna lager”* [24]. Slutlig specifikation för bitumenbundet dränerande bärlager bör arbetas fram gemensamt med lämplig asfaltstillverkare. ABD har normalt lägre stabilitet än AG och över tid kommer bärlagret deformeras med följden att dräneringsegenskaperna försämras. De försämrade dräneringsegenskaperna uppstår i första hand i hjulspår och beror på att hålrummet minskar när materialet deformeras. Inom projektet *”Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor”* uppmättes 50 procent minskning i dränerande förmåga i hjulspår efter en hel livslängds belastning. Mellan hjulspåren försämrades dräneringsförmågan endast i mindre utsträckning.

Med tiden kommer viss igensättning, på grund av smuts och partiklar, av dränerande bärlager att ske, vilket försämrar dräneringsegenskaperna. Igensättningen av bitumenbundna dränerande bärlager går dock betydligt långsammare jämfört med motsvarande slitlager. Detta beror på att slitlagret är mera exponerat för smuts och partiklar (se vidare avsnitt 11.3). Dimensionerande värde på infiltrationsförmåga måste vara kompenserat för igensättning och deformationer som sker under konstruktionens livslängd. Dimensionerande värde för infiltrationsförmåga rekommenderas till max 25 procent av ursprungligt värde. Dimensionerande värde på infiltrationsförmåga ska överskrida behovet att infiltrera dimensionerande nederbörd (t ex 20 eller 30 mm/h beroende på vald varaktighet och återkomstid).

Utomlands används ofta dränerande cementstabiliserat bärlager, med hålrumshalt upp till 35 procent, på grund av sin mycket höga bärighet [32]. I Sverige har endast begränsad erfarenhet upparbetats av dränerande cementstabiliserat grus. Detta omfattas därför inte av denna handbok.

För System III, där ingen infiltration sker igenom beläggningens yta, kan det bitumenbundna bärlagret utföras med asfaltgrus (AG). Asfaltgrus ska uppfylla kraven enligt Trafikverkets publikation *”Krav, Bitumenbundna lager”* [24].

5.5 Terrassmaterial

Terrassen är ytan som bildas genom att planera de i huvudsak naturliga jord- och bergmassorna i väg- eller objektslinjen. Terrassytan bildar gräns mellan över- och underbyggnaden eller mellan överbyggnad och undergrund. Karakterisering och egenskaper hos olika terrassmaterial beskrivs i detalj i kapitel 4.7 och 7.2.



6. Bärighets- och hydraulisk dimensionering

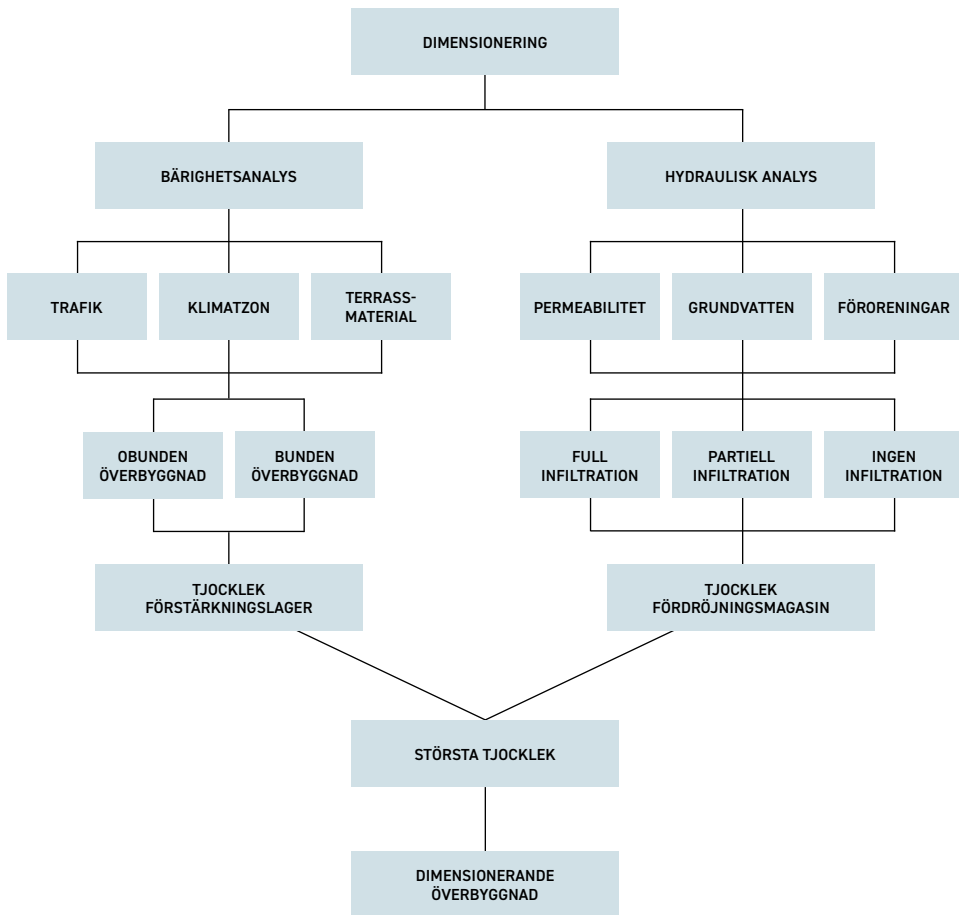
Permeabla konstruktioner har två huvudsakliga tekniska funktioner:

1. Omhändertagande, fördröjning och exfiltrering av nederbörd
2. Ge tillräcklig bärighet för aktuell trafikklass

För att fastställa konstruktionens slutliga uppbyggnad krävs två separata beräkningsprocedurer; bärighets- och hydraulisk beräkning. Bärighetsberäkningen syftar till att ta fram nödvändig förstärkningslagertjocklek så att terrassen skyddas från trafikbelastningen. Genom att öka förstärkningslagrets tjocklek minskar belastningen på terrassen. Detta medför att risken minskar för sättningar och deformationer och överbyggnaden kan uppfylla avsedd funktion.

Hydraulisk dimensionering syftar till att beräkna nödvändig storlek på magasin för omhändertagande och fördröjning av infiltrerande dagvatten. Eftersom magasinets yta normalt är känt är det även i detta fall magasinets tjocklek, d v s förstärkningslagret, som ska dimensioneras. Största tjocklek från respektive dimensionering blir slutlig dimensionerande tjocklek. Dimensioneringsprocedurerna följer flödesdiagrammet i figur 6.1.

Figur 6.1
Flödesschema för bärighets- och hydraulisk dimensionering av dränerande markstenskonstruktioner.





7. Bärighetsdimensionering

7.1 Företsättningar

Överbyggnaden dimensioneras för att klara de belastningar som kan uppstå under konstruktionens hela tänkta livslängd. I detta kapitel presenteras de förutsättningar som behövs för slutligt val av lagertjocklekar enligt kapitel 7.4 Arbetsgång – Bärighetsberäkning. Slutlig överbyggnadstjocklek beror på ingående materials egenskaper och deras årstidsvariationer. Dimensioneringstabeller som återges i denna skrift baserar sig på beräkningar utförda med PMS Objekt. PMS Objekt är Trafikverkets verktyg för att beräkna och dimensionera en vägkropp enligt de regler som anges i *TRVK Väg* [12]. *TRVK Väg* är ett Trafikverksdokument som innehåller Trafikverkets tekniska krav vid dimensionering och konstruktiv utformning av vägöverbyggnad och avvattningsystem. Dimensioneringstabellerna baseras i stor utsträckning på fullskaleförsök av dränerande markstenskonstruktioner utförda vid VTI (Väg och Transportforskningsinstitutet, Linköping) i samband med projektet *"Klimatsäkra systemlösningar för urbana ytor"* [3], [6].

7.2 Geologi, terrassmaterial och klimat

Dimensioneringen av överbyggnaden ur belastningssynpunkt baseras bl a på materialegenskaper för jord och bergmaterial i terrassytan och hur dessa påverkas av årstidsvariationer. Trafikverket har sammanställt ett detaljerat system för klassificering av terrassmaterial. Indelning av jord- och bergmaterial baserar sig på bl a kulkvarnsvärde, kornstorleksfördelning, organisk halt och i vissa kategorier även odränerad skjuvhållfasthet. Trafikverkets system innehåller i vissa fall även flera undergrupper. Om dimensionering av överbyggnaden sker enligt denna handbok sker indelning av jord- och bergmaterial enligt huvudgrupperna i tabell 7.1. Tabell 7.1 överensstämmer med Trafikverkets huvudindelning av jord- och bergmaterial, men indelning i undergrupper är inte nödvändiga för dimensionering enligt denna handbok. Byggnad på terrass av materialtyp 6 och 7 rekommenderas ej. Jordarterna benämns och betecknas enligt SS EN 14688.

Tabell 7.1
Indelning av jord och berg i materialtyp [13], [12].

Materialtyp	Bergtyp	Kulkvarnsvärde	Halten av [vikts-procent] x/y			Exempel på jordarter	Tjälfartighetsklass
			Finjord 0,063/63 mm	Ler 0,002/0,063 mm	Organisk jord procent / 63 mm		
1	1	≤ 18	< 10		≤ 2		1
	2	19 – 30	< 10		< 10		1
2			≤ 15		≤ 2	Bo, Co, Gr, Sa, saGr, grSa, GrMn, SaMn	2
3A	3	> 30	≤ 30		≤ 2		2
3B			16–30		≤ 2	siSa, siGr, siSa Mn, siGr Mn	2
4A			30–40		≤ 2	clMn	3
4B			> 40	> 40	≤ 2	Cl, clMn	3
5A			> 40	≤ 40	≤ 2	Si, clSi, siCl, SiMn	4
5B					3–6	gyCl, gySi	4
6A*					7–20	clGy	3
6B*					> 20	Pt, Gy	1
7*						Restprodukter, återvunna material m m	

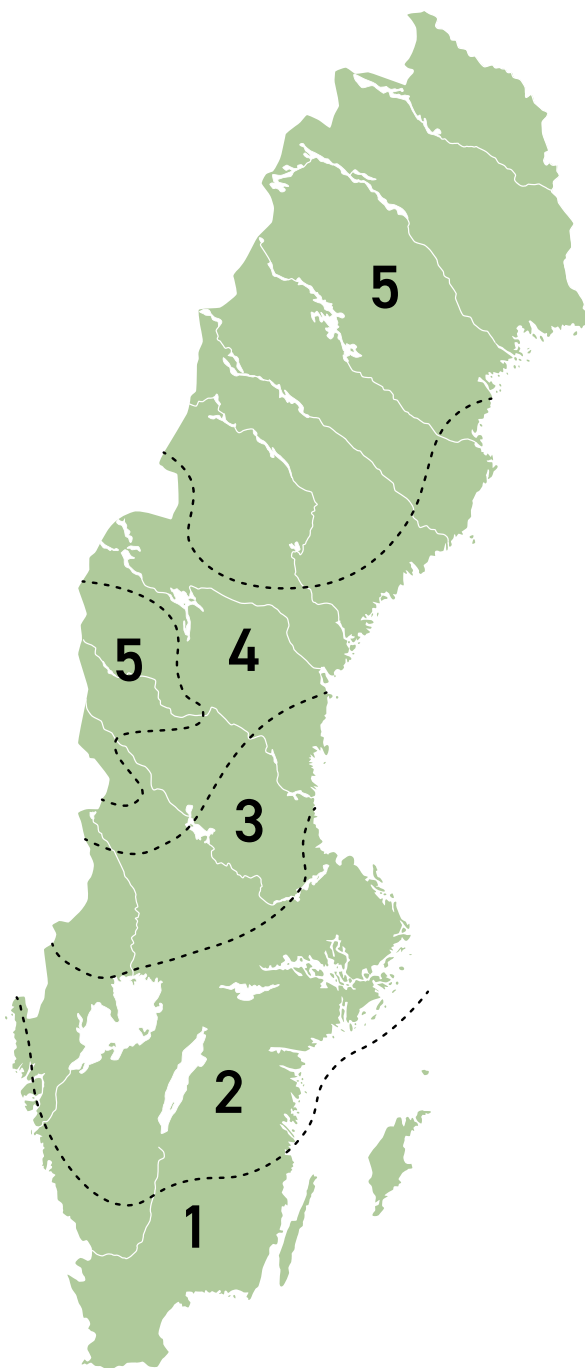
* Byggnad på terrass av materialtyp 6 och 7 rekommenderas ej utifrån nuvarande kunskapsläge.

Dimensioneringen av överbyggnaden ur tjällyftningssynpunkt baseras på tjällyftningsegenskaperna hos terrassens jordart. Jordarter indelas i fyra tjälfarlighetsklasser enligt tabell 7.2.

I områden där dimensionering med hänsyn till tjällyftning normalt görs, ska detta även göras för markstensöverbyggnader. Totala överbyggnadstjockleken kontrolleras med avseende på aktuell klimatzon. Sverige delas in i klimatzoner enligt figur 7.1.

Tabell 7.2
Tjälfarlighetsklasser [13].

Tjälfar- lighetsklass	Beskrivning	Exempel på jordart
1	Icke tjällyftande jordarter Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältningsprocessen i regel är obetydlig. Klassen omfattar materialtyp 2 samt organiska jordarter med organisk halt > 20 procent (6B).	Gr, Sa, saGr, grSa, GrMn, Sa Mn, Pt
2	Något tjällyftande jordarter Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältningsprocessen är liten. Klassen omfattar materialtyp 3A och B.	siSa, siGr, siSa Mn, siGr Mn
3	Måttligt tjällyftande jordarter Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältningsprocessen är måttlig. Klassen omfattar materialtyp 4A och B samt 6A.	Cl, ClMn, siMn, siS
4	Mycket tjällyftande jordarter Dessa kännetecknas av att tjällyftningen under tjältningsprocessen är stor. Klassen omfattar materialtyp 5.	Si, clSi, siCl, SiMn



Figur 7.1
Indelning av Sverige i klimatzoner [12], [13].

7.3 Trafiklast

Överbyggnaden dimensioneras med hänsyn till den förväntade trafiklasten som kommer belasta konstruktionen under dess livslängd. Totala trafiklasten, uttryckt genom aktuell trafikklass, dimensionerar förstärkningslagrets tjocklek. Trafikklasserna beaktar endast vertikal belastning i form av axellast hos passerande fordon under konstruktionens förväntade livslängd.

Förutom vertikala belastningar tillkommer dynamiska och horisontella belastningar från svängande och vridande hjul, tillskott förorsakat av ojämnheter i vägbanan eller broms- och accelerationskrafter. Denna typ av belastning dimensioneras genom konstruktionstekniska lösningar. Konstruktionstekniska lösningar kan vara; lämpligt val av marksten (exempelvis låssten), fog, lägningsmönster, mothåll (kantstöd) och eventuell friktion mot underlaget [11].

Att uppskatta den faktiska trafikbelastningen utifrån det stora spektrum av fordon och fordonskonfigurationer som trafikerar våra vägar är mycket svårt. För att enklare bedöma trafikens totala belastning görs en uppdelning i trafikklasser. Varje klass uttrycker ett intervall av bedömd trafiklast under avsedd teknisk livslängd (se vidare avsnitt 11.6). Trafiklasten i en trafikklass beskrivs som ekvivalenta antalet standardaxlar (N_{ekv}), där standardaxeln är en fiktiv jämförande 100 kN axel enligt Trafikverkets definition [12]. Antal standardaxlar i respektive trafikklass är alltså inte ett direkt mått på antal fordon som passerar. Definitionen av trafikklass utgår från trafiksituationen på statliga vägar där spårbundenheten är relativt hög. För kommunala ytor kan trafiksituationen ha ett helt annat spektrum och detta måste bedömas separat. Utspridd trafikbelastning sänker antalet ekvivalenta standardaxlar i respektive del av ytan. Däremot kan exempelvis infarter eller angöring belastas av den totala trafikbelastningen. Det är viktigt ur ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv att en högre trafikklass överslagsmässigt inte väljs i brist på utförlig analys av trafiksituationen eller som kompensation för förväntade brister i utförande.

Nedan presenteras tre metoder för beräkning av trafiklast. Svensk Markbetong rekommenderar att beräkningen sker enligt www.svenskmarkbetong.se där en detaljerad analys enkelt kan göras.

7.3.1 Trafikklassbestämning enligt Trafikverkets metod – förenklad version

Nedan sammanfattas en förenklad och anpassad version av Trafikverkets metod för beräkning av trafiklast [12], [13]. Beräkning av ekvivalent antal standardaxlar (N_{ekv}) för vald teknisk livslängd kan göras med hjälp av prognos av trafik under avsedd teknisk livslängd eller, om inget annat anges, utförs enligt tabell 7.3 nedan.

Tabell 7.3

Beräkning av antalet standardaxlar (N_{ekv}).

$$N_{ekv} = \mathring{A}DT_k \cdot A \cdot B \cdot 3,65 \cdot n \quad \text{om } k = 0$$

Eller:

$$N_{ekv} = \mathring{A}DT_k \cdot A \cdot B \cdot 3,65 \cdot \left(1 + \frac{100}{k}\right) \left(\left(1 + \frac{k}{100}\right)^n - 1\right) \quad \text{om } k \neq 0$$

Där:

$$B = \sum_{i=1}^j \left(\frac{\text{axelvikt}_i}{\text{laglig vikt}_i} \right)^4 \quad (4 - \text{potensregeln})$$

Där:

$\mathring{A}DT_k$ = årsmedeldygnstrafik

(genomsnittliga trafikflödet per dygn och körfält)

A = andel tunga fordon i % (fordon med totalvikt över 3,5 ton)

n = dimensioneringsperiod (normalt 20 år för nybyggnation)

B = ekvivalent antal standardaxlar per tungt fordon

j = aktuellt fordons antal axlar

k = årlig trafikförändring i % [procent] (tunga fordon)

Laglig vikt definieras som:

Singelaxel: 10 ton, dubbel boggie: 18 ton, trippel boggie: 24 ton

Omräkningsfaktorn (B-faktorn) mellan aktuell axel och standardaxeln beräknas enligt 4-potensregeln och ger en uppfattning om relativ skadeverkan i förhållande till standardaxeln. B-faktorn kan justeras ytterligare med avseende på vald referenshastighet, körfältsbredd och vägtyp [11], [13]. Denna justering är avsedd för statliga vägnätet och är inte direkt tillämbart under urbana förhållanden.

Systemet med uppdelning i trafikklasser används inte längre av trafikverket men är mycket vanligt förekommande i kommunal verksamhet. Många kommuner har även egen uppdelning i trafikklasser som inte helt motsvarar den ursprungliga uppdelningen. Överbyggnadens trafikklass väljs med hjälp av tabell 7.4 och tabell 7.5 så att tillåtet antal standardaxlar är större eller lika med beräknat ekvivalent antal standardaxlar. Trafikklass 0 motsvarar en trafikyta med ytterst lite tung trafik, bara enstaka tunga fordon per dygn, exempelvis en gångfartsgata. För vägar som trafikeras av enstaka fordon med axellast mindre eller lika med 8 ton, exempelvis GC-vägar, används trafikklass GC i tabell 7.4. GC-vägar som trafikeras av enstaka tunga fordon med axellast större än 8 ton, dimensioneras enligt trafikklass 0. För markstensbeläggningar med trafiklast större än trafikklass 4 krävs särskild utredning och beräkning. För ytterligare information om markstensbeläggningar i trafikklass större än 4 hänvisas till *"Markstensbeläggningar för industrier"* [14] samt respektive tillverkare.

Tabell 7.4
Indelning i trafikklasser.

Tillåtet antal standardaxlar ⁽¹⁾	Trafikklass	Traditionella konstruktioner			Dränerande konstruktioner	
		Plattor	Marksten halvförband	Marksten, lässten eller fiskbens- förband	System I	System II och System III
0	G					
0	GC					
< 50 000	0					
50 000 – 250 000	1a					
250 000 – 500 000	1b					
500 000 – 1 000 000	2					
1 000 000 – 2 500 000	3					
2 500 000 – 5 000 000	4					
>5 000 000	≥ 5 ⁽²⁾			Särskild utredning krävs		

Lämpligt

Enl leverantörs anvisning

Ej lämpligt

(1) Per körfält

(2) Särskild utredning och beräkning krävs för markstensbeläggningar i trafikklass 5 och högre.
Se vidare [14] (Markstensbeläggningar för Industriytor (2006)).

Tabell 7.5
Beskrivning av trafikklasser.

Tillåtet antal standardaxlar	Trafikklass	Beskrivning
0	G	Entrégång, uteplats, lekytor, innergård utan trafik.
0	GC	Gång- och cykelväg, enstaka lätta fordon, garageinfart.
< 50 000	0	Lågtrafikerade ytor, som gång och cykelvägar eller parkeringsplatser. Ytorna kan även bära trafik från lättare varutransporter samt enstaka tunga fordon.
50 000 – 250 000	1a	Brandväg, torgytor, gångfartsområde, gågator.
250 000 – 500 000	1b	Shared Space, mindre gator med inslag av tung trafik.
500 000 – 1 000 000	2	Gator, vägar.
1 000 000 – 2 500 000	3	Gator, vägar.
2 500 000 – 5 000 000	4	Gator, vägar.

Tabell 7.6
Fordonsgrupper för förenklad trafikklassbestämning.



Fordonstyp 1: Lätt renhållningsfordon eller personbil.



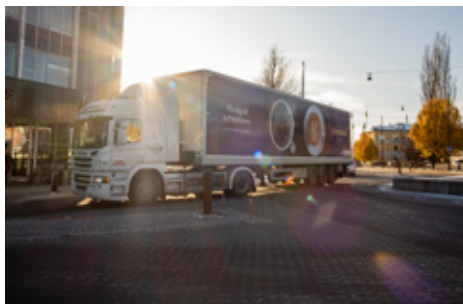
Fordonstyp 2: Lätt varutransport.



Fordonstyp 3: Tvåaxlig lastbil med tvillingmonterade däck.



Fordonstyp 4: Stor buss eller tung lastbil och släp.



7.3.2 Trafikklassbestämning enligt Svensk Markbetong – förenklad version

Indelning i trafikklasser kan vara svår att tillämpa på de låga trafikklasser som kan förekomma i urban trafik. Därför presenteras här en vidareutveckling av Svensk Markbetongs förenklade trafikklassindelning [15]. Denna förenkling är tillämpligt t o m trafikklass 2. Det förekommer givetvis många lägen med högre trafikklasser än 2, exempelvis genomfartsleder, bussgator och dylikt. I dessa situationer rekommenderas att trafikklassbestämningen utförs enligt Trafikverkets metod eller Svensk Markbetongs analysverktyg (www.svenskmarkbetong.se).

I stadsmiljö är övervägande delen av trafiken lätta fordon, det vill säga fordon med totalvikt under 3,5 ton. Samtidigt ger den lätta trafiken ett mycket begränsat tillskott till överbyggnadens tillståndsutveckling, till exempel spårbildning, jämfört med tung trafik. I den förenklade trafikklassbestämning delas trafiken in i fordonsgupper med ungefär samma totalvikt och axelkonfigurationer enligt tabell 7.6. Lämplig trafikklass väljs enligt tabell 7.7, som baserar sig på 20 års dimensioneringsperiod. Tillåtna total- och axellaster återfinns i Transportstyrelsens skrift *"Lasta lagligt"* [22].

Tabell 7.7
Förenklad trafikklassindelning.

	Typfordon 1	Typfordon 2	Typfordon 3	Typfordon 4
Trafikklass	Fordon per dag			
G	10	0	0	0
G/C	100	10	0	0
0	1000	100	10	0
1a	1000	1000	50	0
1b	1000	1000	100	10
2	1000	1000	100	100

7.4 Arbetsgång – bärighetsberäkning

För bärighetsberäkning kan följande arbetsgång användas. Punkt 1–11 gäller dimensionering med hänsyn till bärighet och punkt 12–13 justering med avseende på tjälfarlighet.

1. Bestäm trafiklast och trafikklass enligt avsnitt 7.3; Trafikverkets metod enligt avsnitt 7.3.1 eller Svensk Markbetongs förenklade metod enligt avsnitt 7.3.2. Dimensionering enligt avsnitt 7.3.2 gäller till och med trafikklass 2.
2. Fastställ materialtyp i terrassen enligt tabell 7.1.
3. Fastställ hydraulisk konduktivitet i terrassen enligt avsnitt 4.7.
4. Fastställ grundvattennivåns läge enligt avsnitt 4.8.
5. Utred eventuella föroreningar i undergrunden samt närhet till grundvattentäkt enligt avsnitt 4.9.
6. Med ledning av punkt 1–5 samt avsnitt 4.5, bestäm lämpligt System (I, II eller III) för aktuellt objekt.
7. Med ledning av punkt 1–6 samt avsnitt 4.6 bestäm möjlighet till infiltration i terrassen (full-, partiell- eller ingen infiltration) för aktuellt objekt.
8. Med ledning av punkt 1–7 och tabell 4.1 erhålls typ av System och dess beteckning för bärighetsberäkning.
9. Trafikklassen, typkonstruktion samt uppgifter om trafiksituationen för ytan ger den information som möjliggör val av marksten med hänsyn till format (längd, bredd och tjocklek) och form. Detta har tillsammans med läggningmönstret betydelse för beläggningens stabilitet och lastfördelande egenskaper. Varje tillverkare tillhandahåller information om vilken trafikklass respektive produkt är lämpad för.

10. Överbyggnaden och de olika materiallagrens tjocklek framgår av tabell 7.8 System I, II och III.
11. Överbyggnadstjockleken är i tabell 7.8 beräknad med 80 mm marksten för trafikklass 0 till 4. Reduktion av tjocklek bör ske först efter utredning. Om en annan tjocklek används ska den totala överbyggnadstjockleken justeras enligt tabell 7.9. Om till exempel 60 mm tjock sten används för trafikklass 1, ska förstärkningslagrets tjocklek ökas med 50 mm. Varje tillverkare tillhandahåller information om vilken trafikklass respektive produkt är lämpad för.

I områden där dimensionering med hänsyn till tjällyftning normalt sker, ska detta även göras för markstensöverbyggnader. Punkt 12–13 gäller dimensionering med hänsyn till tjällyftning.

12. Bestäm tjälfarlighetsklass enligt avsnitt 7.2 (tabell 7.2) och klimatzon enligt figur 7.1.
13. Kontrollera den totala överbyggnadstjockleken med hänsyn till tjällyftning enligt tabell 7.10.
14. Överbyggnadstjocklek har nu räknats fram med hänsyn till bärighet (punkt 1–11) och med hänsyn till tjällyftning (punkt 12–13). Största tjocklek är dimensionerande och ska väljas. I det fall den totala överbyggnadstjockleken med avseende på tjällyftning överskrider överbyggnadstjockleken enligt tabell 7.8, är det förstärkningslagrets tjocklek som ska ökas på för att erhålla erforderlig total överbyggnadstjocklek.

Tabell 7.8

Beräkning av förstärkningslagertjocklek (System I, II och III).

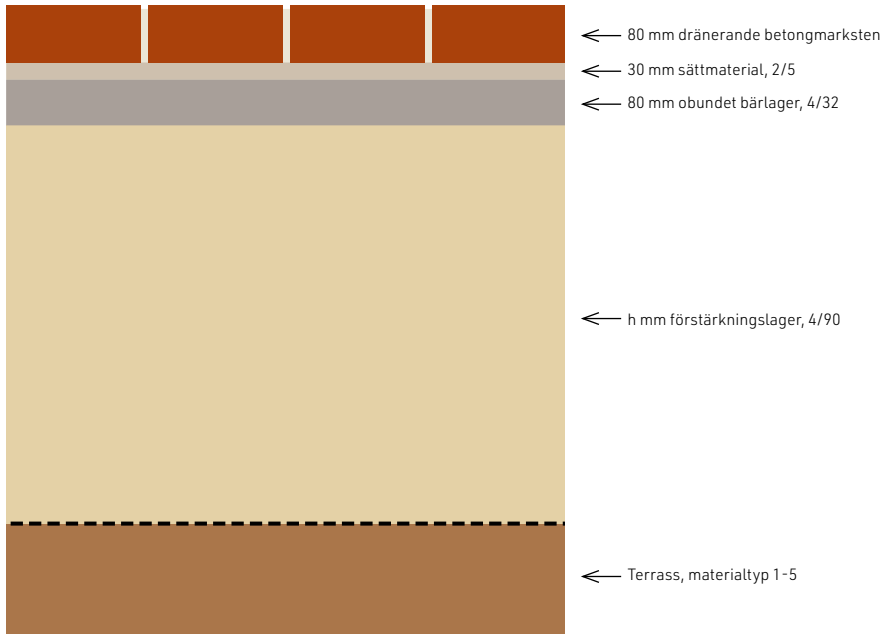
Klimatzon 1–5, krossat dränerande material i förstärkningslagret									
System	Obunden konstruktion	System I							
	Bunden konstruktion (drän./tät)	System II och III							
Trafik	Tillåtet antal standardaxlar	0	0	< 50 000	50 000 – 250 000	250 000 – 500 000	500 000 – 1 000 000	1 000 000 – 2 500 000	2 500 000 – 5 000 000
	Trafikklass	G	GC	0	1a	1b	2	3	4
Överbyggnad	Tjocklek (mm)								
	Marksten	50	60	80	80	80	80	80 ⁽¹⁾	80 ⁽¹⁾
	Sättlager (2/5)	30	30	30	30	30	30	30	30
	Obundet bärlager (4/32) ⁽²⁾⁽³⁾	80	80	80	80	80	80	80	80
	Tjocklek förstärkningslager (h) på terrass av materialtyp:	1	0	0	0	88	88	125	238
		2	0	88	88	133	188	263	363
		3	20	88	88	183	300	363	438
		4	45	88	88	200	338	413	513
		5	95	213	213	341	500	575	725
	System I, f-lager: 4/90	3	20	88	88	183	300	363	438
	System II/III, f-lager 4/90 alt. 16/90	4	45	88	88	200	338	413	513

(1) Vid särskilda omständigheter rekommenderas 100 mm tjocklek.

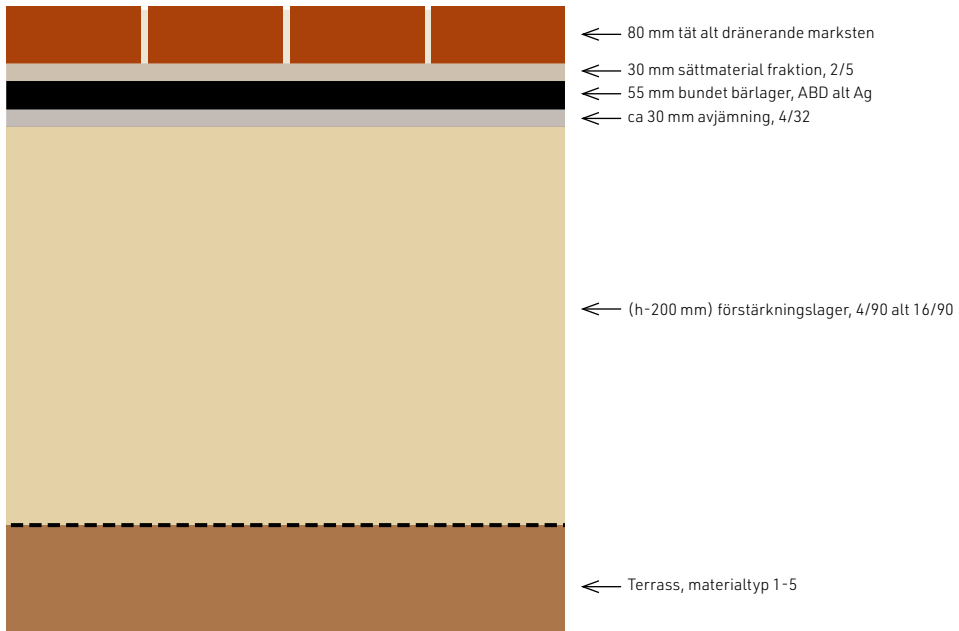
(2) I System II ersätts obundet bärlager med dränerande bitumenbundet bärlager (typ ABD) och förstärkningslagrets tjocklek (h) kan då reduceras med 200 mm.

(3) I System III ersätts obundet bärlager med 55 mm bundet bärlager (typ Ag) och förstärkningslagrets tjocklek (h) kan då reduceras med 200 mm.

System I



System II och III



Tabell 7.9

Justering av förstärkningslagrets tjocklek beroende på annat val av markstenstjocklek än 80 mm (gäller ej för trafikklass G och GC).

Justering av förstärkningslagrets tjocklek						
Markstens tjocklek [mm]	50	60	70	80	100	120
Justering av förstärkningslagrets tjocklek [mm]	+80	+50	+30	0	-35	-70

Tabell 7.10

Total överbyggnadstjocklek (mm) med hänsyn till tjällyftning i samtliga trafikklasser.

Samtliga trafikklasser	Klimatzon					
Tjälfarlighetsklass		1	2	3	4	5
	3	-	-	200	375	1150
	4	-	-	545	1000	1250



8. Hydraulisk dimensionering

I genomsnitt faller cirka 550 mm nederbörd per år i Stockholm. En stor del av detta rinner av som dagvatten från hårdgjorda ytor. Målet för Stockholms stad är att minska föroreningsbelastningen från stadens dagvatten med 70–80 procent. För att nå det målet måste cirka 90 procent av dagvattnets årsvolym fördröjas och renas. Genom att dimensionera dagvattenanläggningar för 20 mm nederbörd skapas en renings- och fördröjningseffekt för 90 procent av årsnederbörden [48], [59]. Med de konstruktioner som presenteras här räcker 80 mm förstärkningslager för att magasinera 20 mm nederbörd. Krav på bärighet ger dock normalt långt tjockare förstärkningslager och kan fördröja betydligt mera än 20 mm nederbörd. Tabell 8.1 illustrerar de konstruktioner, dimensionerade för bärighet enligt kapitel 7, som även klarar av fördröjningskravet på 20 mm nederbörd. Tömningstiden för konstruktionerna (max 24–48 timmar) beror på terrassens hydrauliska egenskaper och dräneringssystemets kapacitet och måste kontrolleras för varje konstruktion. Beräkning av fördröjningsbehov för olika åtkomsttider (till exempel 2-, 5- eller 10- årsregn) görs lämpligen enligt följande avsnitt.

Tabell 8.1

Konstruktioner som klarar fördröjningskravet i Stockholm på 20 mm nederbörd.

Klimatzon 1–5, krossat dränerande material i förstärkningslagret									
System	Obunden konstruktion	System I							
	Bunden konstruktion (drän./tät)	System II och III							
Trafik	Tillåtet antal standardaxlar	0	0	< 50 000	50 000 – 250 000	250 000 – 500 000	500 000 – 1 000 000	1 000 000 – 2 500 000	2 500 000 – 5 000 000
	Trafikklass	G	GC	0	1a	1b	2	3	4
Överbyggnad	Tjocklek (mm)								
	Marksten	50	60	80	80	80	80	80	80
	Sättningslager	30	30	30	30	30	30	30	30
	Obundet bärlager	80	80	80	80	80	80	80	80
	Tjocklek förstärkningslager (h) på terrass av materialtyp:	1	0	0	0	88	88	125	238
		2	0	88	88	133	188	263	438
		3	20	88	88	183	300	363	438
		4	45	88	88	200	338	413	513
		5	95	213	213	341	500	575	725

 Klarar ej 20 mm nederbörd, 80 mm förstärkningslager krävs

 Klarar 20 mm nederbörd

 Klarar 20 mm nederbörd, säkerhetsfaktor > 1,5

 Klarar 20 mm nederbörd, säkerhetsfaktor > 3

8.1 Markstenskonstruktion som fördröjningsmagasin

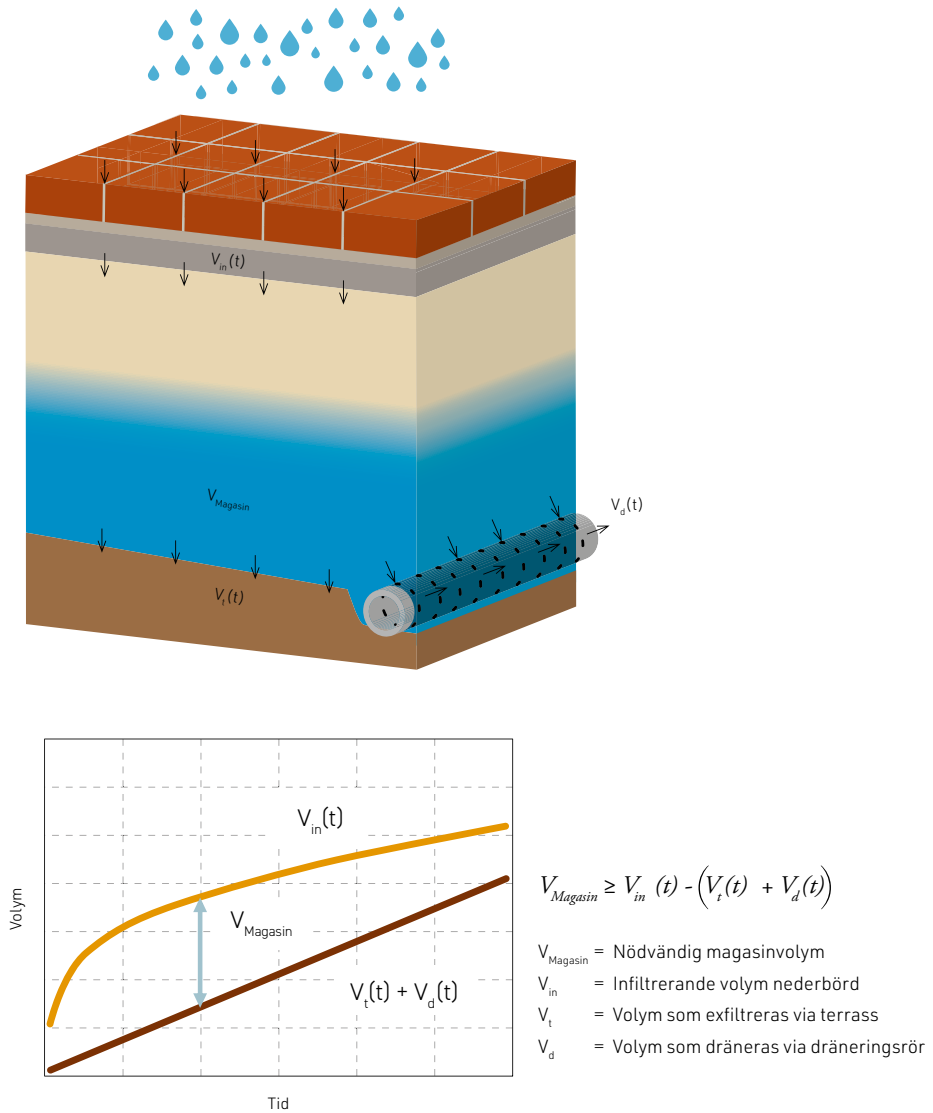
Dränerande markstenskonstruktioner består i huvudsak av mycket öppna material som, i vattenmättat tillstånd, inte påverkas lika negativt under trafikbelastning som konstruktioner uppbyggda med traditionella täta material. Dock måste tillräcklig avvattningshastighet av överbyggnaden säkerställas så att konstruktionen, till exempel sådana utan bräddning, inte överfylls eller att oacceptabla deformationer uppstår. Krav på tömningstid av överbyggnaden blir därför en viktig parameter i den hydrauliska dimensioneringen. Normalt bör överbyggnadens tömningstid vara maximalt 24–48 timmar. Lokala krav och regleringar finns ofta för olika typer av fördröjningsmagasin, men det är sällsynt att permeabla överbyggnader avses i dessa sammanhang.

Hydraulisk dimensionering av dränerande öppna markstenskonstruktioner är normalt en iterativ process där beräkningarna löpande korrigeras på grund av att förutsättningarna ändras (t ex när höjda dräneringsrör är aktiva endast under avvattningsförloppet) fram till att det finns ett slutgiltigt lösningsförslag. Metoden som redovisas nedan bygger på flera antaganden och begränsningar. T ex antas ingen exfiltration av vatten ske från överbyggnadens sidoytor, endast via terrassen eller dräneringsrör. Under vissa förutsättningar kan överbyggnadens sidoytor bidra i relativt stor utsträckning till avvattningen. Metoden utgår också från tryckhöjden för avtappning via dräneringsrören är konstant, och måste för en detaljerad analys passningsräknas i tidsinkrement.

Figur 8.1 illustrerar nödvändigt magasin för fördröjning av dagvatten. Magasinsvolymen måste vara större än infiltrerande mängd vatten minus vatten som exfiltreras till terrass samt dräneras via dräneringsrör.

Nederbörd är oregelbunden och varierar stort över tiden. Detta gör att beräkning av flödet (från direkt nederbörd och tillrinnande ytor) som är i behov av fördröjning blir en balansräkning mellan många faktorer som varierar i tiden. En fullständig analys blir då normalt för komplex för att kunna analyseras med en handberäkningsmetod. Framför allt gäller detta om anläggningen ingår som en del av en kedja för hållbar dagvattenhantering. I följande avsnitt presenteras en dimensioneringsmetodik för överslagsberäkning av nödvändig förstärkningslagertjocklek för infiltration och fördröjning av dagvatten. Metodiken lämpar sig för överslagsdimensionering och rimlighetskontroll av enstaka objekt, med begränsad tillrinning från intilliggande ytor, och där dimensionerande regnintensitet och varaktighet är känd. Om ytan ingår i en större kedja av åtgärder nedströms bör en mera noggrann analys utföras enligt metodik föreslagen av till exempel Svensk Vatten [33], [34], eller med några av de hydrauliska datormodeller som finns tillgängliga [36], [37].

Figur 8.1
Illustration av nödvändig magasinvolym för fördröjning av infiltrerande vatten.





8.2 Beräkning av infiltrerande vattenmängd

För beräkning av volymen infiltrerande vatten (V_{in}) kan, med information om regnintensitet [$l/(s, ha)$] med tillhörande varaktighet [min] för olika återkomsttider (till exempel 2-, 5-, 10-årsregn), så kallade envelopkurvor skapas. Envelopkurvorna ger information, med nederbördsstatistik från aktuell ort tillsammans med ekvationen i tabell 8.2, om specifik avrunnen volym (det vill säga volym som behöver infiltreras i den dränerande markstensbeläggningen) som funktion av regnvaraktigheten. Maximala skillnaden mellan specifik avrunnen volym (det vill säga infiltrerande volym) och dräneringssystemens avtappningsförmåga (via terrass och/eller dräneringsrör) ger då den specifika magasinvolymen (det vill säga den maximala volym vatten som behöver magasineras i förstärkningslagret). Ytterligare beskrivning av denna metod faller utanför ramen av denna handbok. Metodiken beskrivs utförligt i t ex [33], [34], [42] m fl.

Volymen vatten som behöver infiltrera och fördröjas i konstruktionen beräknas enligt tabell 8.2 [34].

Tillrinning från intilliggande avrinningsytor (A_r) till den dränerande ytan (A_p) bör endast ske från hårdgjorda ytor. Avrinningsytan ska inte vara exponerad för sediment från närliggande grönområden och idrottsplaner (organiskt material som frömjöl, lövrester, jord, flygsand och dylikt). Internationella rekommendationer begränsar normalt avrinningsytans area till maximalt 4 gånger den dränerande ytans area [5], [41]. Detta förutsätter dock att tillrinningen kan fördelas jämt runt den dränerande ytans sidor. Tänk på att eventuell tillrinning ökar igensättningen av fogarna, framförallt i områden som ansluter till tillrinningspunkterna. Avrinningsytor kommer därför att öka behovet av kontroll och DoU - åtgärder, både för den dränerande och intilliggande avrinningsytan. Endast begränsade svenska erfarenheter finns, varför önskemål/behov av avrinning bör vägas mot riskerna vid till exempel brister i underhåll innan tillrinningsytornas tillåtna storlek bestäms.

8.3 Beräkning av maximalt behov av magasinintjocklek (förstärkningslager)

Om dimensionerande regnintensitet (i_{dim}) med tillhörande varaktighet (t_{dim}) är känt, kan beräkning av volymen infiltrerande vatten (V_{in}) direkt beräknas enligt ekvationen i tabell 8.2. Om inget utflöde sker från terrass eller dräneringsrör under den tid det tar att fylla förstärkningslagret, kan förstärkningslagrets maximala tjocklek (magasindjup) för dimensionerande regnintensitet och varaktighet beräknas enligt ekvationen i tabell 8.3.

Tabell 8.2

Beräkning av infiltrerande vattenmängd [34].

$$V_{in} = f_c \cdot i_{dim} \cdot (A_D + A_T \cdot \varphi_T) \cdot t_{dim} \cdot f_{just}$$

Där:

V_{in} = Infiltrerande vattenmängd [m^3].

f_c = Klimatfaktor enligt Svensk Vatten P104, (1,05 – 1,3).

i_{dim} = Regnintensitet för blockregn med viss varaktighet [l/s, ha].

A_D = Dränerande ytans area [m^2].

A_T = Intilliggande avrinningsytas area (max 4 ggr A_D) [m^2].

φ_T = Intilliggande avrinningsytas avrinningkoefficient, d v s andel av ytan som bidrar med nederbörd till den dränerande ytan.
Ingen avrinning antas ske från den dränerande ytan.

t_{dim} = Regnets varaktighet [min].

f_{just} = Justeringsfaktor (= 600).
Justerar regnintensitet (i) från [l/s, ha] till [m^3 /min, m^2].

Nederbördsdata från samhörande värden på i_{dim} och t_{dim} tas från lokala intensitetsvaraktighetssamband i form av kurvor enligt figur 12.3 eller från ekvationer av typ enligt tabell 12.1 [34].

För enhetskonvertering se avsnitt 12.4.

Tabell 8.3

Erforderlig magasinshöjd utan hänsyn tagen till utflöde.

$$d_{max} = \frac{V_{in}}{A_D \cdot n_f}$$

Där:

d_{max} = Maximalt erforderlig tjocklek på förstärkningslager för magasinering [m], utan avtappning under regnets varaktighet.

V_{in} = Infiltrerande vattenmängd, enligt ekvation i tabell 8.2 [m³].

A_D = Dränerande ytas area [m²].

n_f = Förstärkningslagrets porositet [>0,25, dimensionslös].

Genom att plotta kurvan för d_{max} och sedan lägga in kurvan för summan av avvattningskapaciteten från avtappning till terrass (enligt avsnitt 8.4.1) och dräneringsrör (enligt avsnitt 8.4.2), fås erforderlig förstärkningslagertjocklek som största skillnad mellan kurvorna.

Se vidare tabell 8.6.

8.4 Avvattning av överbyggnaden

Vid en nederbörds mängd på 20 mm kan man förenklat anta att det kommer bildas en vattenfylld zon ovanpå terrassen i det öppna förstärkningslagret. Detta antagande gäller om infiltrationen (och permeabiliteten) i förstärkningslagret är mycket högre än exfiltration via terrass och eventuella dräneringsrör. Om porositeten i förstärkningslagret är till exempel 25 procent skapas en vattenfylld zon med en höjd av 80 mm som behöver avvattnas/dräneras. Avvattningen av dränerande markstenskonstruktioner sker normalt genom vertikal exfiltration till terrassen samt en kombination av vertikal och horisontell avvattning till dräneringsrör enligt figur 8.2.

Eventuell exfiltration via överbyggnadens sidoytor beaktas inte. Avvattningskapaciteten anger hur tjock vattenmättad zon dräneringssystemen (via terrass (d_t) och/eller via dräneringsrör (d_d)) som kan avvattnas under en given tid (tömningstid). Den totala avvattningskapaciteten ($d_t + d_d$) måste överstiga behovet av tjocklek (d_{dim}) på reservoar för fördröjning av infiltrerande dagvatten.

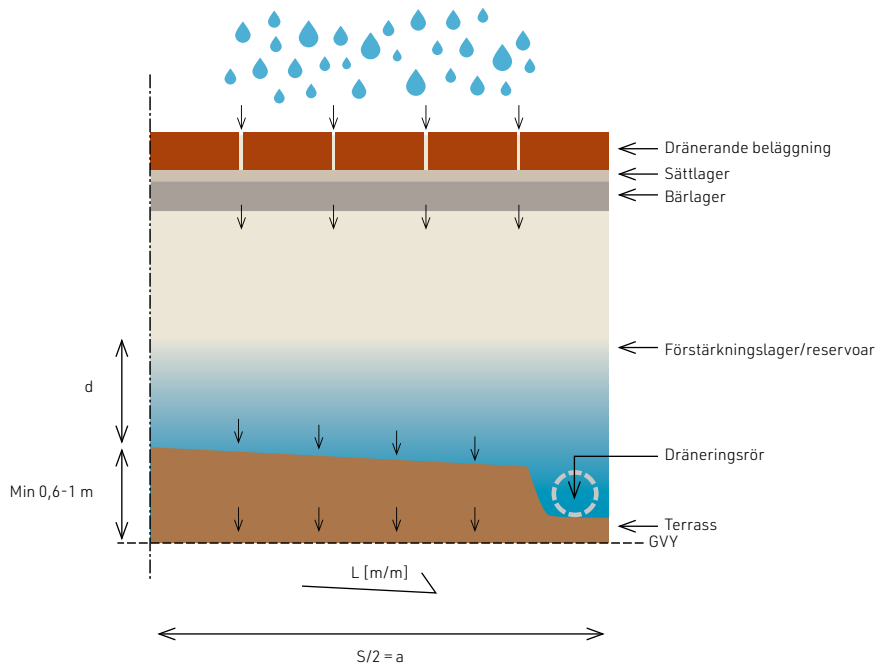
8.4.1 Avvattning till terrass

Avvattningskapaciteten via exfiltration till terrassen beräknas enligt tabell 8.4.

8.4.2 Avvattning via dräneringsrör

Avvattning via dräneringsrör placerade i överkant av terrass kräver, förutom vertikalt flöde, även att vattnet rör sig i sidled genom överbyggnaden. Vattnets rörelse i sidled är mycket långsamt i förhållande till dess vertikala hastighet [38]. Beräkning av tömningstid eller avvattningskapacitet från dräneringsrör placerade i terrassens överkant kan överslagsmässigt göras enligt tabell 8.5 [39].

Figur 8.2
Principskiss över avvattning av dränerande markstenskonstruktion (ej skalenligt).



Tabell 8.4

Beräkning av avvattningskapacitet av förstärkningslagret via exfiltration till terrassen [35].

$$d_t = \frac{t \cdot f_K \cdot K_t}{n_f} \cdot i$$

Där:

d_t = avvattningskapacitet av förstärkningslagret genom exfiltration till terrass [m]

t = tid under vilken avvattning till terrass pågår (tömningstid) [h]

n_f = förstärkningslagrets porositet ($> 0,25$) [dimensionslös]

K_t = hydraulisk konduktivitet i terrassmaterialet (från fältmätning) [m/h]

f_K = säkerhetsfaktor för variation i terrassens hydrauliska förmåga ($f_K = 0,5$)

i = hydraulisk gradient [m/m]

Där:

i (hydraulisk gradient) ges av $i = \frac{(0,5 \cdot d + D)}{D} \approx 1,5$

d = den vattenfyllda zonens höjd (eftersom endast halva höjden i snitt är aktiv multipliceras höjden med 0,5) [m]. Vattenfyllda zonens höjs ges av $d = \frac{d_r}{n_f}$

d_r = dimensionerande regndjup, d v s nederbörd som ska omhändertas, [m]

$D \approx d$, d v s avståndet vattenpelaren i förstärkningslagret behöver transporteras i terrassen, [m].

Infiltration är i praktiken ett tidsberoende förlopp och den hydraulisk gradient varierar med tiden. Från en initialt mycket högt värde närmar sig gradienten värdet 1 alt eftersom infiltrationen fortgår [51]. I detta sammanhang kan dock $i = 1,5$ anses vara ett snittvärde under förloppet (vid osäkerhet kan det mera konservativa värdet $i = 1,0$ väljas) [23], [49], [50], [51].

I detta fall anges hydraulisk konduktivitet med [m/h] och måste räknas om från det mera använda [m/s], omräkningsfaktor = 3 600.

Avvattning av överbyggnaden med avseende på exfiltration till terrass kan även grafiskt bestämmas enligt bilaga 12.1.

Tabell 8.5

Beräkning av avvattningskapacitet av förstärkningslagret via dräneringsrör i överkant av terrass [39].

$$d_d = \left(\frac{d}{S} \left(\frac{d}{S} + L \right) K_f \right) t$$

Där:

d_d = Avvattningskapacitet (av förstärkningslagret) via dräneringsrör [m]

t = Tid under vilken avvattning till dräneringsrör pågår (tömningstid) [h]

d = Den vattenfyllda zonens höjd [m]

S = Avstånd mellan dräneringsrör [m]

L = Terrassens lutning [m/m]

K_f = Hydraulisk konduktivitet i förstärkningslagret [m/s]

Observera att i detta fall anges hydraulisk konduktivitet med [m/h] och måste räknas om från det normalt använda [m/s], omräkningsfaktor = 3 600.

Den vattenfyllda zonens höjd [m] ges av: $d = \frac{d_r}{n_f}$

Där:

d_r = dimensionerande regndjup, d v s nederbörd som ska omhändertas, [m]

n_f = förstärkningslagrets porositet (> 0,25) [dimensionslös]

Koncentrationsförhållandet mellan vertikala och horisontala vattenflödet ges genom: $\frac{d/2}{S/2} = \frac{d}{S}$

Observera att eftersom det endast i snitt är halva höjden som är aktiv vid tömning, delas d med 2.

Hydraulisk konduktivitet anges normalt vid full gravitation. I detta fall flödar vattnet i vinkel mot gravitationen. Hydraulisk konduktivitet i flödesriktningen blir: $\left(\frac{d/2}{S/2} + L \right) K_f = \left(\frac{d}{S} + L \right) K_f$

Observera att eftersom det endast i snitt är halva höjden som är aktiv vid tömning, delas d med 2.

Avvattning av överbyggnaden med avseende på exfiltration till terrass kan även grafiskt bestämmas enligt bilaga 12.1.

8.5 Erforderlig magasinhöjd med dimensionerande regnintensitet och varaktighet

Ofta finns lokala riktlinjer för hur fördröjningsåtgärder ska dimensioneras för ett visst regndjup eller regnintensitet (i_{dim}) med tillhörande varaktighet (t_{dim}). Saknas lokala rekommendationer bör riktlinjer enligt Svensk Vatten följas [33], [34], [40], [52].

Om inget utflöde sker från terrass eller dräneringsrör under den tid det tar att fylla förstärkningslagret, kan förstärkningslagrets maximala tjocklek (magasindjup) för dimensionerande regnintensitet och varaktighet beräknas enligt ekvationen i tabell 8.3.

Om avtappning av förstärkningslagret via exfiltration till terrass och/eller avtappning till dräneringsrör, under den tid det tar att fylla förstärkningslagret kan förstärkningslagrets dimensionerande tjocklek (magasindjup) beräknas enligt ekvationen i tabell 8.6.

Tabell 8.6

Dimensionerande magasinhöjd (förstärkningslagertjocklek) för dimensionerande regndjup med tillhörande varaktighet (t_{dim}).

$$d_{dim} = d_{max} - (d_t + d_d)$$

Där:

d_{dim} = Dimensionerande magasinhöjd (förstärkningslagertjocklek) [m]

d_{max} = Ges av tabell 8.3

d_t = Ges av tabell 8.4, där tiden (t), under vilken avvattning till terrass pågår, sätts till $t = t_{dim}$

d_d = Ges av tabell 8.5, där tiden (t), under vilken avvattning till dränrör pågår, sätts till $t = t_{dim}$

t_{dim} = Varaktighet för dimensionerande nederbörd

8.6 Kontroll avvattningskapacitet (tömningstid)

När dimensionerande magasintjocklek (förstärkningslagertjocklek) har beräknats (d_{dim}), måste den samlade avvattningskapaciteten (exfiltration till terrass och avvattning till dräneringsrör) kontrolleras så att önskad tömningstid uppnås. Avvattningskapaciteten för konstruktion med infiltration till terrassen och avvattning via dräneringsrör ges av ekvationen i tabell 8.7.

Om villkoret enligt ekvationen i tabell 8.7 inte uppnås kan förstärkningslagret överfyllas och åtgärder måste vidtas för att förhindra detta. Det kan göras genom att till exempel minska avståndet (S) mellan dräneringsrör, förstärkningslagret bräddas vid nivån för maximal avvattningskapacitet, förstärkningslagrets tjocklek ökas eller att eventuell tillrinningsyta minskas.

Tabell 8.7

Kontroll av avvattningskapacitet.

$$d_{dim} \leq (d_t + d_d)$$

Där:

d_t ges av tabell 8.4, där tiden (t), under vilken avvattning till terrass pågår, sätts till önskad tömningstid, t ex $t = 24-48$ h

d_d ges av tabell 8.5, där tiden (t), under vilken avvattning till dräneringsrör pågår, sätts till önskad tömningstid, t ex $t = 24-48$ h

8.7 Arbetsgång – hydraulisk analys

Följande arbetsgång kan med fördel användas för hydraulisk dimensionering av dränerande markstenskonstruktion. Beräkningen förutsätter att ”Arbetsgång – Bärighetsberäkning” enligt avsnitt 7.4 har genomförts.

1. Med ledning av avsnitt 4.10, gör lämplighetsbedömning av möjlighet för konstruktion med full, partiell eller ingen infiltration.
2. Med ledning av avsnitt 4.5–4.6 gör en teknisk bedömning av lämplig typkonstruktion.
3. Med ledning av avsnitt 7.4 ”Arbetsgång – Bärighetsberäkning”, punkt 1–8 erhålls slutligt val av System (I, II eller III) och dess beteckning (till exempel DO(F), DB(P) etc).
4. Med ledning av lokala föreskrifter eller *Svenskt Vatten P110* [33], bestäm dimensionerande regndjup (d_r) som ska omhändertas, eller utgå från regnintensitet (i_{dim}) med tillhörande varaktighet (t_{dim}) och skapa envelopkurvor (med kumulativt regndjup) för olika återkomsttider enligt Dahlström (2010) [48], [52].

Punkt 5–13 avser system med *ingen infiltration* (DO(I), DB(I) eller TB(I)), punkt 14–20 avser system med *full infiltration* (DO(F) och DB(F)) och punkt 21–28 avser system med *partiell infiltration* (DO(P) eller DB(P)).

Ingen infiltration:

5. Beräkna dimensionerande mängd infiltrerande vatten (V_{in}) enligt avsnitt 8.2, tabell 8.2.
6. Antag avstånd mellan dräneringsrören (S).
7. Beräkna maximalt erforderligt magasinshöjd (d_{max}) enligt avsnitt 8.3.
8. Beräkna dimensionerande magasinshöjd (d_{dim}) enligt tabell 8.6 och tabell 8.5 (med tidssteg = t_{dim}). För system med ingen infiltration är $d_t = 0$.
9. Beräkna avvattningsskapaciteten (d_d) av förstärkningslagret för önskad tömningstid (till exempel 24 timmar) enligt tabell 8.5 (det vill säga hur tjock vattenmättad zon dräneringsrören kan avvatta under given tömningstid).
10. Om $d_{dim} \geq d_d$ enligt tabell 8.7, måste magasinshöjden ökas, avståndet mellan dräneringsrören (S) minskas eller area på eventuell avrinningsyta (A_T) minskas.
11. Passningsräkna om punkt 5–11, tills villkoret $d_{dim} < d_d$, enligt tabell 8.7 uppfylls.
12. Om $d_{dim} \ll d_d$, kan systemet optimeras ytterligare (till exempel öka avståndet mellan dräneringsrör).
13. Fortsätt till punkt 29.

Full infiltration:

14. Beräkna dimensionerande mängd infiltrerande vatten (V_{in}) enligt avsnitt 8.2, tabell 8.2.
15. Beräkna maximalt erforderligt magasinshöjd (d_{max}) enligt avsnitt 8.3.
16. Beräkna dimensionerande magasinshöjd (d_{dim}) enligt tabell 8.6 och tabell 8.4 (med tidssteg = t_{dim}). För system med full infiltration är $d_d = 0$.
17. Beräkna avvattningskapaciteten (d_t) av förstärkningslagret för önskad tömningstid (till exempel 24 timmar) enligt tabell 8.4 (det vill säga hur tjock vattenmättad zon terrassen kan avvattna under given tömningstid).
18. Om är $d_{dim} \geq d_t$, enligt tabell 8.7, måste magasinshöjden ökas, avståndet mellan dräneringsrören (S) minskas eller area på eventuell avrinningsyta (A_r) minskas.
19. Passningsräkna om punkt 14–19, tills villkoret $d_{dim} < d_t$, enligt tabell 8.7 uppfylls.
20. Fortsätt till punkt 29.

Partiell infiltration:

21. Beräkna dimensionerande mängd infiltrerande vatten (V_{in}) enligt avsnitt 8.3, tabell 8.2.
22. Antag avstånd mellan dräneringsrören (S).
23. Beräkna maximalt erforderligt magasinshöjd (d_{max}) enligt 8.3.
24. Beräkna dimensionerande magasinshöjd (d_{dim}) enligt tabell 8.6, tabell 8.4 och tabell 8.5 (med tidssteg = t_{dim}).
25. Beräkna avvattningskapaciteten, ($d_t + d_d$), av förstärkningslagret för önskad tömningstid (till exempel 24 timmar) enligt tabell 8.4 och tabell 8.5 (det vill säga hur tjock vattenmättad zon dräneringsrören och terrassen kan avvattna under given tömningstid).
26. Om är $d_{dim} \geq d_t + d_d$, enligt tabell 8.7, måste magasinshöjden ökas, avståndet mellan dräneringsrören (S) minskas eller area på eventuell avrinningsyta (A_r) minskas.
27. Passningsräkna om punkt 21–27, tills villkoret $d_{dim} < d_d$, enligt tabell 8.7 uppfylls.
28. Om $d_{dim} \ll d_t + d_d$, kan systemet optimeras ytterligare (t ex öka avståndet mellan dräneringsrör).

Full, partiell eller ingen infiltration:

29. Jämför dimensionerande magasinstjocklek (d_{dim}) med dimensionerande tjocklek på förstärkningslager med hänsyn till bärighet och tjällyftning enligt avsnitt 7.4 "Arbetsgång – Bärighetsberäkning". Största tjocklek på förstärkningslager är dimensionerande och ska väljas. Övriga lagers tjocklekar ges av avsnitt 7.4.

9. Redovisning

I handlingar som beskriver överbyggnader med dränerande markstensbeläggningar, ska följande anges:

1. Trafikbelastning i form av ekvivalent antal standardaxlar, samt hur prognosen tagits fram för dessa över avsedd teknisk livslängd (dimensioneringsperiod).
2. Klimatzon.
3. Materialtyper och tjälfarlighetsklasser i vägområdet.
4. Terrassens hydrauliska egenskaper.
5. Typ av överbyggnadskonstruktion och dess beteckning.
6. Krav på ingående delmaterial (fraktioner, permeabilitet, porositet etc).
7. Eventuell ansluten areal från tillrinningsytor, använda avrinningskoefficienter, rinntider, återkomsttider för regn och klimatfaktor.
8. Dimensionerande magasinvolym samt förväntad tömningstid.
9. Måttsett överbyggnadskonstruktion med mått för betongmarksten, sättlager, bärlager, förstärkningslager och dränering.
10. Mönster, typ, färg samt dimensioner på betongmarksten.
11. Typ av kantstöd och hur dessa ska förankras.
12. Hur anslutningar ska lösas.
13. Om/hur terrassen får beträdas/packas.
14. Krav på jämnhet, packning och kontroll.
15. Hur egenkontroll ska genomföras och redovisas.
16. Krav på arbetsplatsplanering (kontamination, byggsekvens etc).
17. Plan för skötsel, drift och underhåll (särskild fokus på igensättning av fogar och sidoanläggningar).



10. Utförande

Utförande ska ske enligt projektspecifika anvisningar och generella krav på material, packning, lutningar, toleranser och utspetsning m m som finns angivna i gällande *AMA Anläggning* samt i Trafikverkets kravdokument. Kraven på dränerande markbeläggningar och dess överbyggnad är beroende av trafik- och hydraulisk belastning. Beläggningsen "läses in" genom följande åtgärder: stabila kantstöd och välfyllda fogar. För generella anvisningar, som också ska följas vid byggande av dränerande markstenskonstruktioner, hänvisas till Svensk Markbetong "*Beläggning av plattor och marksten av betong*" [15] samt "*Levande gaturum – en handbok i grön-blå-grå system*" [55].

10.1 Arbetsplatsplanering

Högsta prioritet måste alltid vara att material, terrass, delar av konstruktionen eller färdig konstruktion skyddas från kontaminering av sediment eller andra material från annan verksamhet vid byggarbetsplatsen under hela byggfasen. Risken att förväxla olika typer av material (till exempel olika fraktioner krossmaterial) måste också förhindras genom en väl planerad arbetsplats och turordning för olika arbetsmoment. Alla leveranser till arbetsplatsen måste kontrolleras noga, märkas tydligt och lagras på arbetsplatsen utan risk för kontamination. Efter färdigställande måste byggtrafik från intilliggande pågående byggarbeten förhindras att trafikera konstruktionen, utan föregående åtgärd. Detta för att förhindra igensättning av till exempel fogar. Temporär sedimentation- och erosionskontroll, för avledning av dagvatten, kan vara nödvändig innan konstruktionen har färdigställts. I tillägg bör mattor som förhindrar erosion av särskilt känsliga slänter användas [5]. Fysiska hinder som motverkar att smuts och annat material vandrar in på den dränerande ytan från intilliggande byggarbeten bör installeras. Om den dränerande konstruktionen ingår som en del av ett större projekt är det fördelaktigt att den byggs så sent som möjligt under projektiden. Detta för att förhindra kontamination av konstruktionen. Om det inte är möjligt kan eventuellt en eller flera av följande alternativ övervägas och beslutas redan under projekteringsfasen [5], [18]. Alternativen i listan ges med stigande kostnadsnivå.

- Färdigställ den dränerande markstenskonstruktionen först, och tillåt därefter byggtrafik trafikera ytan som normalt under byggtiden. Efter byggtidens slut, och då intilliggande växtbäddar och grönområden har stabiliserats av vegetation eller erosionsmattor, vakuumsugs ytan med maskin kapabel att suga upp minst 25 mm fogmaterial. Fogarna inspekteras noga, och om synbart sediment finns kvar i fogen vakuumsugs ytan ytterligare en gång, eller tills inget synbart sediment finns kvar. Efter tillfredsställande vakuumsugning, fogas ytan med fogmaterial enligt avsnitt 5.2.

- Skydda den färdiga beläggningen med vävd geotextil och minst 50 mm stenkross i fraktionen 2/5 (motsvarande fogmaterialet). Efter byggtidens slut, och då intilliggande växtbäddar och grönområden har stabiliserats av vegetation eller erosionsmattor avlägsnas krossmaterialet och geotextilen. Ytan inspekteras noga för eventuell kontamination, borstas och efterfogas vid behov.
- Färdigställ konstruktionens förstärkningslager och skydda detta med vävd geotextil. Fyll upp till intilliggande nivå med förstärkningslagermaterial. Denna yta används av byggtrafik under resten av projektperioden. Efter byggtidens slut, och då intilliggande växtbäddar och grönområden har stabiliserats av vegetation eller erosionsmattor avlägsnas krossmaterialet och geotextilen, och resten av konstruktionen upp till beläggningen kan färdigställas.
- Etablera temporära transportvägar för byggtrafik, som kringgår den färdiga dränerande markstenskonstruktionen. Transportvägarna bör skyltas noga så att oavsiktlig access och kontamination av den dränerande markstensbeläggningen undviks.

10.2 Undergrund och terrass

Undvik att packa terrassen om inte uttryckligen noterat i projektörens anvisningar. För traditionella konstruktioner packas normalt terrassen lätt för att på så sätt få en mera stabil plattform för vidare arbete. Terrassens infiltrationsförmåga påverkas däremot i stor utsträckning av eventuell packning och hela konstruktionens förmåga att omhänderta dagvatten kan påverkas negativt om oavsiktlig packning görs. Oavsiktlig packning vid byggarbetsplatsen bör vara en faktor vid den hydrauliska dimensioneringen. Undvik hjulburna arbetsredskap om inte terrassen ska packas med avsikten att bevara en naturlig hög infiltrationsförmåga. Använd i första hand arbetsredskap försedda med larvfötter. Om möjligt bör grävmaskiner arbeta från sidorna under arbetet med utgrävningen. Arbetsredskap bör inte beträda ytan förrän minst 200 mm förstärkningslager lagts ut.

Konstruktioner som byggs för full infiltration, d v s DO(I) och DB(I), bör anläggas med terrass med så liten lutning som möjligt. Detta för att möjliggöra så hög infiltrationsförmåga som möjligt i terrassen. Områdesspecifika avväganden måste dock göras så att terrassen lutar bort från andra känsliga anläggningar, till exempel husgrunder. Då bör terrassen luta 1–2 procent bort från berörd anläggning och terrassens lutning måste säkerställas oberoende av den färdiga ytans lutning.

Konstruktioner som byggs för partiell infiltration (d v s DO(P) och DB(P)) bör anläggas med terrasslutning på 1–2 procent mot dräneringsrör.

10.3 Geotextil

Särskilt utformade geotextilier kan användas för att öka systemets förmåga att bryta ned föroreningar. Vatten passerar igenom geotextilen medan föroreningar fastnar. Därmed skapas en biobädd där marklevande organismer snabbt kan föröka sig. Geotextilier kan även användas för att förhindra migration av finare materialfraktioner. Geotextil kan anläggas både på terrassens yta och i övre delen av överbyggnaden. Sediment kan däremot fastna på geotextilen och därmed minska dräneringsförmågan. Beslut om geotextil eller inte bör avgöras av det primära syftet med infiltrationen; omhändertagande av stora mängder dagvatten eller rening och biodegradering av föroreningar i dagvattnet. Om infiltration av dagvatten sker via beläggningen (och primärsyftet är omhändertagande av dagvatten) bör geotextilier undvikas högt uppe i överbyggnaden och inte användas mellan exempelvis sättningslager och bärlager. Noteras även att applicering av geotextil på grova fraktioner är praktiskt svårt och kan medföra utförandeproblem vid exempelvis packning.

Geotextilier kan ha en mängd andra funktioner i överbyggnaden (separerande lager, bärighetsförstärkning, filtrering, dränering och inneslutning) och finns i många olika utföranden. Dimensionering av funktion görs enligt leverantörens anvisningar [26].

10.4 Överbyggnadslager

Ett friktionsmaterials stabilitet (inte att förväxla med styvhet eller bärighet) beror i hög grad på finfraktionen. Finfraktionen underlättar packning genom att fungera som ”smörjmedel” på samma sätt som vatten när materialet utsätts för dynamisk belastning. Vid triaxialförsök uppmäts normalt ingen signifikant skillnad mellan styvhet hos material med hög respektive låg andel 0–2 fraktion. Det innebär också att risken för horisontell glidning inte förändras märkbart vid övergång till dränerande produkter. Material med låg andel finfraktion upplevs ofta som svårpackade. Det svenska forskningsprojektet ”Klimatsäkra systemlösningar för urbana ytor” [6] ledde till två tydliga slutsatser:

1. Att det packningsförfarande som anges i *AMA Anläggning* inte är tillräcklig.
2. Att packningen alltid bör kontrolleras med statisk plattbelastning innan nästa lager läggs ut enligt *Trafikverkets krav TRVKB 10* [17].

Dessa slutsatser gäller även välgraderade material för traditionella överbyggnadskonstruktioner.

Arbetstekniskt är det ingen större skillnad att arbeta med dränerande material jämfört med traditionellt vägbyggnadsmaterial. För ytterligare anvisningar hänvisas till Svensk Markbetong ”*Beläggning av plattor och marksten av betong*” [15].

10.5 Materialskiljande lager

En praktisk och effektiv metod att förhindra materialvandring, är att anpassa kornfraktionen till intilliggande lager så att migration förhindras. För att kontrollera risken för materialvandring kan kriteriet i tabell 10.1 användas. Att kriterierna uppfylls innebär dock inte att maximal stabilitet uppnås direkt och viss eftersättning måste man normalt räkna med [16].

Tabell 10.1

Filterkapacitet för sätt-, bär- och förstärkningslager.

Filterkriterium sättlager – bärlager	$\frac{D_{50, \text{Bärlager}}}{D_{50, \text{Sättlager}}} \leq 25$
	$\frac{D_{15, \text{Bärlager}}}{D_{85, \text{Sättlager}}} \leq 5$
Filterkriterium bärlager – förstärkningslager	$\frac{D_{50, \text{Förstärkningslager}}}{D_{50, \text{Bärlager}}} \leq 25$
	$\frac{D_{15, \text{Förstärkningslager}}}{D_{85, \text{Bärlager}}} \leq 5$

Där D_x är partikelstorlek, vid siktanalys av respektive material, var vid x procent är passerande mängd.



10.6 Inspektionsbrunn

På trafikerade ytor bör en brunn för inspektion av överbyggnadens hydrauliska förmåga installeras. Inspektionsbrunnen gör det möjligt att över tid övervaka överbyggnadens funktion. Brunnen kan utgöras av ett perforerat vertikalt installerat dräneringsrör i diameter 100–150 mm. Dräneringsrörets ena sida kan forceras in i terrassen och ska hållas kvar i vertikal position under utläggning och packning av överbyggnaden. Inspektionsbrunnen bör placeras i ytans lågpunkt och minst 1 meter från närmaste inspänning.

10.7 Tjällyftning och tjällossning

Utöver kontroll av total överbyggnadstjocklek (se tabell 7.10) behöver inga särskilda åtgärder vidtas med avseende på tjällyftning eller tjällossning. I väl konstruerade överbyggnader härrör normalt eventuella problem med tjälning och tjällossning från terrassen. Dränerande överbyggnaders öppna struktur medför att frysmotståndet normalt är något större i dränerande överbyggnader än med traditionella. Detta medför att överbyggnaden normalt fryser långsammare och därigenom ger ett lägre tjäldjup. Motsatt kan frysmotståndet ge långsammare urtjälningsförlopp vilket är fördelaktigt med avseende på terrassens eventuella bärighetsreduktion under tjällossningen. Överbyggnaden är även mindre känslig för frysning jämfört med traditionella överbyggnader eftersom den öppna strukturen har mycket liten eller ingen kapillär stighöjd och därigenom inget tillgängligt vatten för expansion. Eventuella tjällyftningar kommer att uppstå i terrassen och påverkar överbyggnaden på samma sätt som i en traditionell överbyggnad. Eftersom konstruktionen fryser från ytan och nedåt är risken även liten för att dagvatten i konstruktionen eventuellt inte hinner dränera.

10.8 Besiktning och egenkontroll

Vid slutbesiktning är det svårt att se hur överbyggnaden under slitlagret är utförd. I det fall utförandet är felaktigt, felaktiga material har använts eller material blivit kontaminerade under byggskedet kan det ta flera år innan detta märks. Det är därför av yttersta vikt att beställaren anger hur egenkontrollen ska utföras, dokumenteras och presenteras vid slutbesiktningen. Extern kontroll rekommenderas. Plan för hur egenkontrollen ska utföras bör upprättas och koordineras med kvalitetsplan och arbetsplatsplaneringen. System för egenkontroll bör innehålla [44]:

- Ett kontrollprogram som sammanfattar vilka kontrollmoment som ska utföras, vilken omfattning de har, när de ska utföras och med vilka hjälpmedel.
- En signaturlista där ansvarsförhållanden klargörs.
- Checklistor för varje slag av arbetsmoment eller entreprenaddel. Checklistorna upprättas specifikt för varje projekt. I dessa tas upp vad kontrollen ska omfatta och mot vilka krav.
- Riskbedömningar och arbetsberedningar utförs för att identifiera och kvalitetssäkra kritiska moment i åtagandet. Omfattning av egenkontroll bestäms med detta som grund.
- Kontrollrapporter, med en rad för varje kontrollobjekt, där signering sker som visar att kontroll enligt aktuell checklista utförts på objektet ifråga. Här noteras också förekommande avvikelser, och åtgärder för att avhjälpa avvikelser. Alternativt sker detta på separat avvikelserapport. Kontrollrapporten bör ha en kolumn för signering när ett kontrollobjekt är helt klart och avvikelser är åtgärdade.
- En slutrapport som bland annat följs av en rapport över avvikelser som kvarstår vid uppdragsslut.



11. Drift och underhåll

Drift och underhåll av dränerande markstenskonstruktioner utförs som vid traditionella konstruktioner och beskrivs mera utförligt i Svensk Markbetong *"Beläggning av plattor och marksten av betong"* [15]. För dränerande markstensbeläggningar tillkommer vissa moment som beskrivs i följande avsnitt. Drift och underhåll av kompletterande konstruktioner som ofta ingår i system för omhändertagande och rening av dagvatten (brunnar, dagvattentunnlar, regnbäddar etc) beskrivs utförligt i *"Skötselmanual – Instruktioner för drift och underhåll av grön-blå-grå system i gaturum"* [53] samt *"Grävningsmanual – Instruktioner för grävning i eller nära grön-blå-grå system i gaturum"* [54].

11.1 Halkbekämpning

Ytor som infiltrerar vattnet via beläggningen bör inte halkbekämpas med sand eftersom det innehåller fina fraktioner av mineraliska material och fogarna (betongmarksten) eller hålrummen (dränerande asfalt eller betong) då riskerar sättas igen. Halkbekämpning ska utföras med samma fraktion som fogmaterialet (vanligen 2/5 mm). Den återkommande rengöringen av fogarna påverkas inte om halkbekämpning sker med likartat material som finns i fogarna. Täta ytor som dränerar in dagvatten via sidoanordningar kan halkbekämpas med traditionella metoder.

Halkbekämpning med salt kan utföras som normalt. Dränerande beläggningar har normalt större frysmotstånd och bibehåller sin infiltrationsförmåga under vintern jämfört med traditionella överbyggnader och kräver därför normalt avsevärt mindre halkbekämpning med salt. Internationell litteratur beskriver upp emot 75 procent minskat behov av salt jämfört med traditionella konstruktioner. Vid full infiltration i terrassen bör man vara uppmärksam på att halkbekämpningssalt infiltreras tillsammans med dagvattnet och närhet till eventuella dagvattentäcker måste beaktas [21].

11.2 Igensättning av fogar

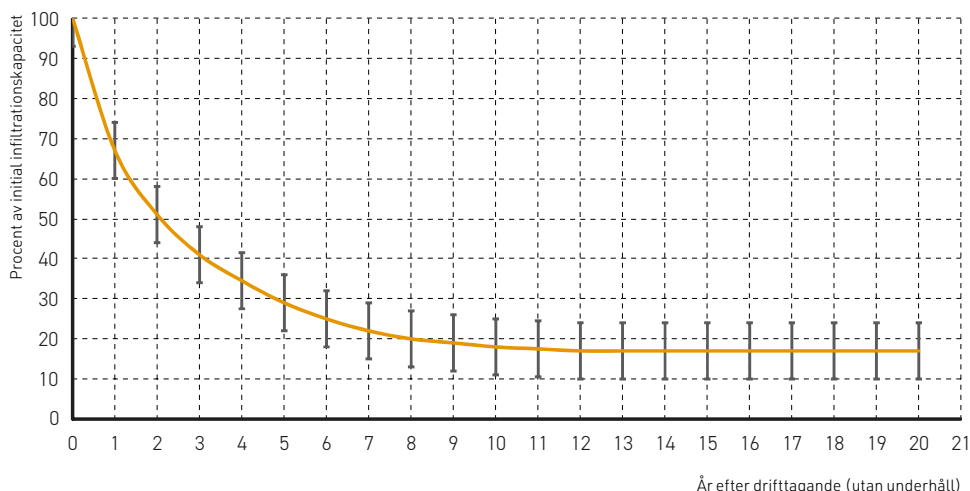
Med tiden kommer beläggningens infiltrationskapacitet succesivt avta på grund av igensättning av smuts och partiklar från biltrafik och annan mänsklig verksamhet. Till vilken grad fogarnas dräneringsförmåga minskar beror på lokala förutsättningar till exempel närhet till grönområden (organiskt material som frömjöl och lövrester), flygsand (idrottsplaner och dylikt), samt typ av halkbekämpningsmaterial, föroreningar från trafik och fordon, frekvens av DoU-åtgärder (sopning, vakuumsugning), dubbdäcksfrekvens och ytans användningsområde etc. Dessa faktorer måste beaktas i planeringsskedet och enkla åtgärder som naturliga vindskydd eller fysiska hinder (exempelvis förhöjda kantstöd) är ofta tillräckliga.

Fältnätningar utförda i USA visar att över 90 procent av sediment som infiltrerar via fogar och perkolationsöppningar i beläggningen fastnar i fog- och sättmaterial [18]. En mängd internationellt utförda fältnätningar ([18], [19], [20]) visar på stor variation i dräneringsförmågan över tid, från relativt opåverkad till en reduktion ned till 10 procent av initial dräneringsförmåga.

Vid dimensioneringen måste hänsyn tas till förväntad igensättning av fogmaterialet så att beläggningen uppfyller kravet på infiltration över vald underhållsperiod. Ett konservativt antagande är att estimerar beläggningens dimensionerande infiltrationskapacitet till ca 20–25 procent av den initialt opåverkade infiltrationskapacitet, och att reduktionen sker över en tidsperiod på 8–12 år enligt figur 11.1. Reduktion i infiltrationskapacitet enligt figur 11.1 gäller när inget underhåll av fogar sker under tiden. Observera att betydligt kortare DoU intervall rekommenderas. Om de riktlinjer för konstruktionens uppbyggnad och ingående material som rekommenderas i denna handbok följs, kommer kvarvarande förmåga till infiltration väl överstiga förväntade nederbördsmängder i Sverige (se vidare avsnitt 12.2).

Figur 11.1

Illustration av beläggningens reduktion i infiltrationskapacitet över tid [19].



Här är det även värt att notera att DoU-åtgärder som till exempel vakuumsugning och applicering av nytt fogmaterial helt kan återställa initial dräneringsförmåga.

Som exempel kan beläggningsens initiala och slutliga infiltrationskapacitet uppskattas från laboratoriemätningar av fogmaterialets permeabilitet enligt tabell 11.1. Observera att olika mätmetoder används för laboratorie- respektive fältmätningar av infiltrationsförmåga och stora variationer kan normalt förväntas [19], [7]. Exemplet ska därför inte övertolkas eller användas som en generell riktlinje för beräkning av beläggningsens initiala eller slutliga infiltrationsförmåga.

Tabell 11.1

Uppskattning av beläggningsens infiltrationskapacitet.

Uppskattning av beläggningsens infiltrationskapacitet från fogmaterialets permeabilitet:	
Beläggningsens fogarea	10 % (fogarean varierar mellan olika produkter)
Minimum rek permeabilitet för fogmaterial enl tabell 5.2	$1,0 \times 10^{-2} \text{ m/s} = 36\,000 \text{ mm/h}$
Säkerhetsfaktor	0,5
Beläggningsens initiala infiltrationskapacitet	$36\,000 \times 0,1 \times 0,5 = 1\,800 \text{ mm/h}$
Förväntad reduktion i infiltrationsförmåga p g a igensättning över 8–12 år (utan underhåll)	80 %
Uppskattad infiltrationskapacitet efter 8–12 år (utan underhåll)	$1\,800 \times 0,2 = 360 \text{ mm/h}$

Värdet ska jämföras med dimensionerande regnintensitet enligt avsnitt 12.2.



11.3 Igensättning av dränerande bundet bärlager

Ingen specifik forskning kring igensättning av dränerande bundna bärlager har noterats i internationell litteratur. Däremot visar många studier att bärlagret inte är lika exponerat för sediment som slitlagret och att mindre än 10 procent av totalbelastningen når bärlagret. Av denna anledning kommer en eventuell igensättning av bitumenbundet bärlager ske mycket långsamt jämfört med igensättning av fogen och sättlagret.

Om infiltrationsförmågan efter lång tid ändå behöver åtgärdas sker detta genom att avlägsna beläggning och sättmaterial, samt sopning och vakuumsugning av ytan [56]. Infiltrationsförmågan mäts direkt på den bitumenbundna ytan innan och efter åtgärd med dubbelringinfiltrationsmeter [7], [8], [9]. Konstruktionen återställs genom att nytt sätt- och fogmaterial appliceras och eventuellt skadade stenar ersätts med nya. Om vakuumsugningen inte kan återställa infiltrationsförmågan till tillfredställande nivåer kan metodik utvecklat av Interpave användas [2]. I denna metod borrar 75 mm hål, i ett ortogonalt mönster, med 0,75 meters mellanrum genom det bitumenbundna bärlagret. Hålen fylls därefter med krossmaterial i samma fraktion som sättlagret. Konstruktionen återställs sedan på samma sätt som ovan.

Över tid, och under hög trafikbelastning kommer spårbildning att uppstå i ett bitumenbundet bärlager. Deformationen som uppstår kommer minska hålrummet och därigenom reducera infiltrationsförmågan. Denna reduktion kan endast åtgärdas genom användning av Interpaves metodik beskriven ovan. Inom ramen för projektet *"Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor"* [7] undersöktes infiltrationsförmågan hos dränerande bitumenbundet bärlager och obundet bärlager efter belastning upp till trafikklass 2. Ingen skillnad kunde påvisas för obundet bärlager efter en livslängds belastning. Där bärlagret utgjordes av dränasfalt påvisades en betydligt större skillnad av den dränerande förmågan efter en livslängds belastning. En reduktion om ca 50 procent uppmättes. Dock ansågs den dränerande förmågan fortsatt mycket god och den dränerande förmågan var endast reducerad i hjulspåren.

Om kraftig spårbildning i bärlagret förväntas uppstå på grund av tung trafik bör cementbundet bärlager övervägas som alternativ till bitumenbundet bärlager. Cementbundna bärlager har mycket hög styvhet och deformationsresistens och kan därför bära mycket tunga laster utan att deformeras på samma sätt som ett bitumenbundet bärlager. Dränerande cementstabiliserat material, med hålrumshalt upp till 35 procent, används tack vare sin mycket höga bärighet i stor utsträckning utomlands [32]. I Sverige har endast begränsad erfarenhet upparbetats av dränerande cementstabiliserat grus, och omfattas därför inte av denna handbok.

11.4 Igensättning av förstärkningslager

Om dagvatten leds direkt in i förstärkningslagret via dräneringsledningar (System III) finns viss risk för lokal igensättning beroende på hur mycket torrsubstans dagvattnet innehåller. Hur stor igensättningen blir har inte undersökts för specifika förhållanden och är mycket lite omtalad i internationell litteratur. För att minska eventuell risk för lokal igensättning av förstärkningslagret kan dagvattnet ledas först via exempelvis dagvattenbrunn och eventuell växtbädd innan det leds in i förstärkningslagret. Dagvattenbrunnen kan då rengöras från eventuella sediment som avsätts med tiden [19], [21].

11.5 DoU intervaller

En av de viktigaste drift- och underhållsåtgärderna är att säkerställa beläggningens dränerande egenskaper över tid. Det är därför viktigt att beläggningen kontrolleras vid tidsbestämda intervall. Hur ofta ytan bör kontrolleras beror på trafiksituationen och närhet till exempelvis grönområden (se kap. 11.2 och 11.4). En snabb, enkel och subjektiv test som kan göras mycket frekvent är att hålla några liter vatten på ytan och okulärt bedöma utbredningen och infiltrationen. Särskilt bör övergången mellan omgivande traditionella beläggningar och dränerande beläggning kontrolleras eftersom detta är områden som oftast först tenderar att sättas igen. En annan enkel inspektion är att bedöma mängden vattenbildningar (pölar) under eller omedelbart efter en relativt intensiv nederbörd. Bildas vattenpölar på mera än ca 20 procent av ytan bör ytan kontrolleras mera noggrant med jämförande testmetoder [8], [7], [9].

Om stående vatten bildar pölar på ytan eller om infiltrationsförmågan på annat sätt är reducerad, bör ytan vakuumsopas för att få bort sediment som sätter igen fogen. Enbart sopning är normalt inte tillräckligt och därför bör sugande sopmaskiner användas för att säkerställa att problemen åtgärdas. Hela eller delar av fogmaterialet måste normalt sugas upp, beroende på graden av igensättning. Igensättningsdjupen kan enkelt kontrolleras genom att gröpa ur fogen med en skruvmejsel ner till opåverkat djup. Sugdjupet ställs in och anpassas till igensättningsdjupet. Fogen ska återfyllas med nytt och rent fogmaterial (2/5 mm enligt kapitel 5.2). Efter åtgärd bör ytan testas för att säkerställa att infiltrationsförmågan har förbättrats till åtminstone 50 procent av den ursprungliga. Orsaken till igensättning bör därefter utredas och åtgärdas.

Lämpliga DoU åtgärder och intervaller måste fastställas lokalt. Tabell 11.2 sammanfattar exempel på de viktigaste åtgärderna samt förslag till åtgärdsintervaller. Orsaken till underhållsåtgärden utreds och åtgärdas.

Tabell 11.2

Exempel på DoU åtgärd- och intervall för dränerande markstensbeläggningar [27].

Problemställning	Aktivitet	När
Igensättning	Vakuumsug ytan för att få bort sediment. Ersätt fogmaterial med rent material i fraktionen 2/5.	1 till 2 ggr/år beroende på sedimentbelastning och vattenansamlingar.
Sättningar	Reparera alla sättningar överstigande 13 mm	Årligen, eller efter behov
Spårbildning	Reparera spårbildning överstigande 13 mm	Årligen eller efter behov
Fogsprång (nivåskillnad mellan intilliggande stenar)	Reparera fogsprång överstigande 6 mm	Årligen eller efter behov
Trasiga stenar	Byt ut stenar efter behov	Årligen eller efter behov
För stor fogbredd	Reparera del av yta med fogbredd överstigande 13 mm	Årligen eller efter behov
Avsaknad av fogmaterial	Fyll på med rätt fogmaterial	Vid behov
Horisontell glidning	Reparera ytor med glidning överstigande 10 mm	Årligen eller vid behov
Övrigt		

11.6 Teknisk livslängd

Med teknisk livslängd avses normalt den tid (år) då konstruktionen uppfyller avsedd funktion med normalt drift och underhåll. Teknisk livslängd är i ingenjörstermer ett mycket trubbigt mått på hållbarhet eller tidsperiod, då ett strikt och mätbart mått krävs för avsedd funktion. I praktiken är dock avsedd funktion ett mycket diffust mått och kan innehålla en mängd olika parametrar som i varierande grad är svåra att specificera och sätta kravnivå på (exempelvis ojämnheter, sättningar, spårbildning, ytskador, sprickbildningar etc).

Ett mera praktiskt och ingenjörsmässigt mått på livslängd eller hållbarhet är att använda spårutveckling som funktion av trafiklast (uttryckt i standardaxlar). Här får spårutvecklingen beskriva avsedd funktion och antalet standardaxlar beskriva livslängden. Båda parametrar är relativt enkla att i praktiken utvärdera och följa upp. Antalet standardaxlar kan då vid behov enkelt översättas till en tidsperiod och standardaxlar översättas till aktuellt trafikmönster.

Normalt drift och underhåll kan i detta sammanhang definieras som åtgärder kopplade till lagning av spår. Inom ramen för projektet *"Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor"* [3] har normalt drift och underhåll definierats som två spårförbättrande åtgärder som utförs vid spår djup på 21 mm. Detta överensstämmer inte nödvändigtvis med aktuell kommunal praxis, vilket normalt tillåter avsevärt större spår djup innan underhållsåtgärd igångsätts. Denna definition ger dock en konservativ bedömning av konstruktionens funktion. Värt att notera är att maximalt tillåtet spår djup på 21 mm inte beskriver något slags tillstånd då konstruktionen gått till brott och slutat fungera.

Den faktiska livslängden hos en vägkonstruktion, oberoende av typ, beror alltid på hur väl konstruktionen är projekterad, dimensionerad, byggd och underhållen. För en given trafiklast kräver en dränerande konstruktion något tjockare förstärkningslager än traditionell konstruktion, men vid normal drift och underhåll håller en dränerande konstruktion lika länge som en traditionell konstruktion.

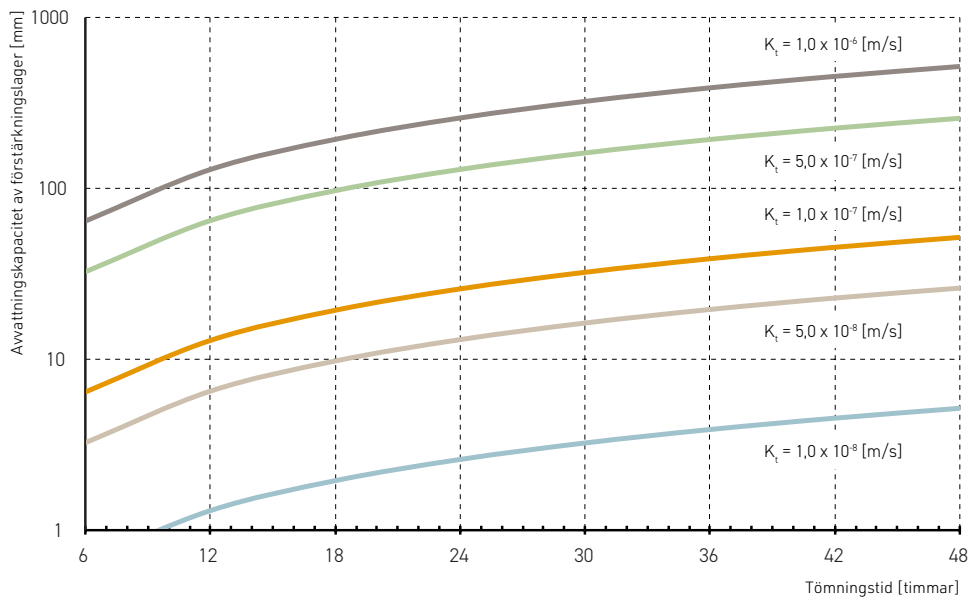
12. Bilagor

12.1 Grafisk bestämning av avvattningskapacitet

Avvattning av överbyggnaden med avseende på exfiltration till terrass eller avtappning till dräneringsrör kan grafiskt bestämmas enligt figur 12.1 och figur 12.2. Båda figurerna är en grafisk representation av ekvationerna i tabell 8.4 och tabell 8.5.

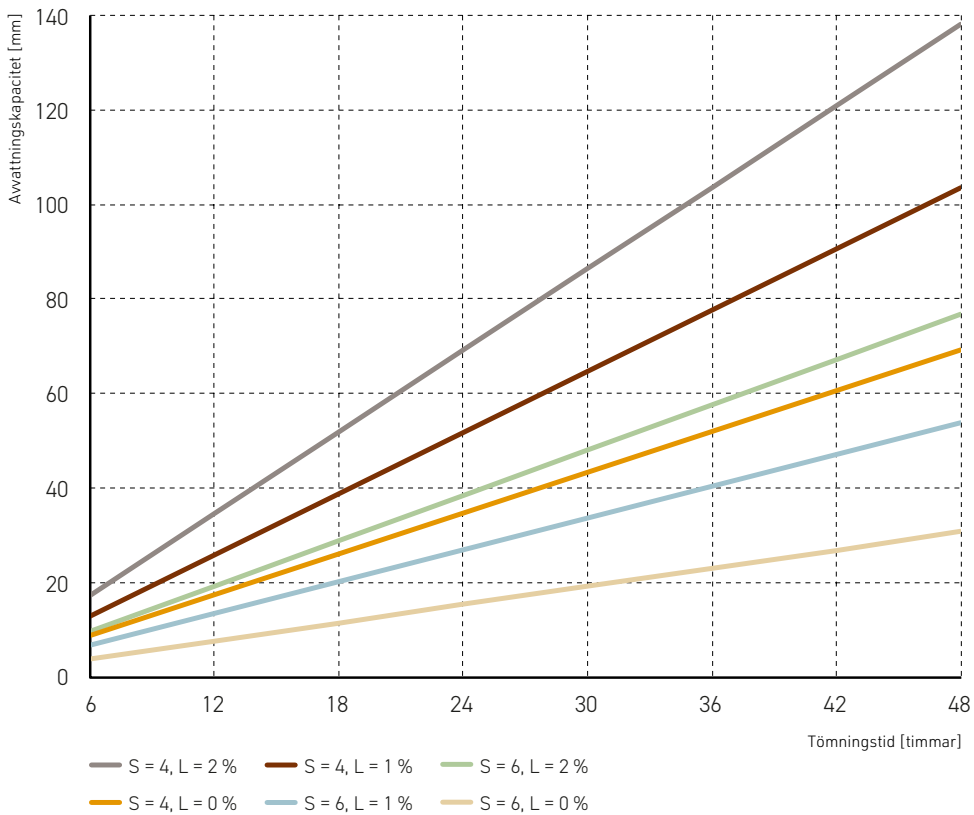
Figur 12.1

Avvattningskapacitet av förstärkningslagret med avseende på exfiltration till terrass för olika hydrauliska konduktiviteter i terrassmaterialet (enligt ekvation i tabell 8.4).



Avvattningskapaciteten är beräknat för vattenfylld zon om 80 mm (motsvarande 20 mm nederbörd) och porositet i förstärkningslagret på 0,25. Säkerhetsfaktor för variation i terrassens hydrauliska förmåga $f_K = 0,5$.

Figur 12.2
Avvattningskapacitet (enligt ekvation i tabell 8.5).



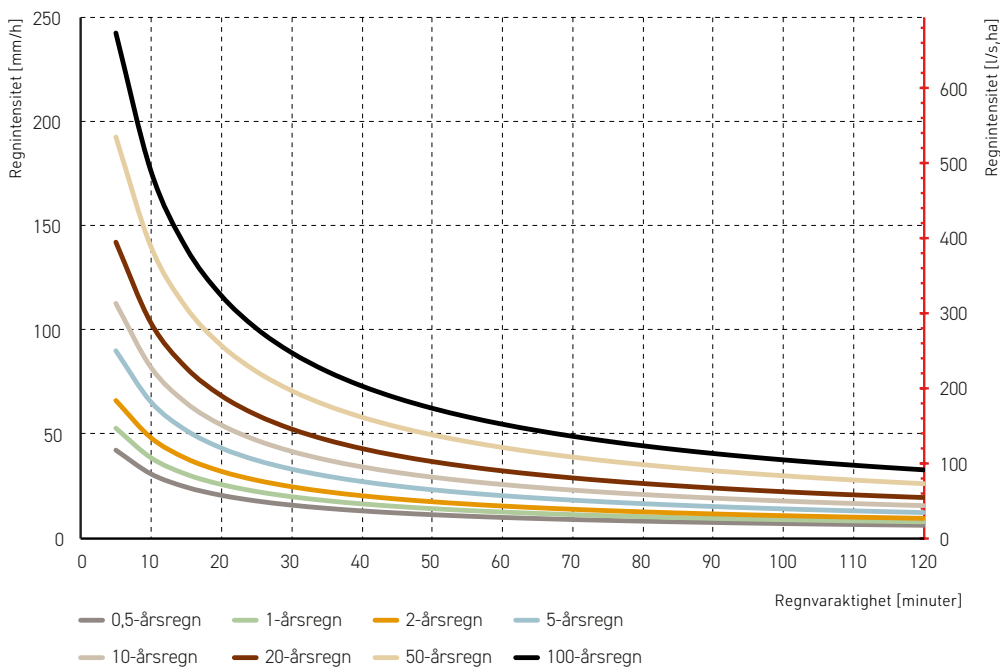
Avvattningskapacitet (enligt ekvation i tabell 8.5) via avtappning till dräneringsrör för olika lutningar på terrassen (L) och olika avstånd mellan dräneringsrör (S). Avvattningskapaciteten är beräknad för vattenfylld zon om 80 mm (motsvarande 20 mm nederbörd och porositet i förstärkningslagret på 0,25). Endast halva tryckhöjden antas i snitt vara aktiv vid tömning. Förstärkningslagrets hydrauliska konduktivitet = $1,0 \times 10^{-3}$ m/s. För hydraulisk konduktivitet på $1,0 \times 10^{-2}$ m/s ökas värdena (avvattningskapaciteten) med 10 ggr.

12.2 Nederbördsdata

Dimensionering av fördröjningssystem med avseende på s k typregn bygger antingen på att utnyttja lokal tillgänglig regnstatistik eller så används ekvation i tabell 12.1. Ekvationen speglar svenska förhållanden för varaktigheter upp till 24 timmar. För varaktigheter över 24 timmar används det så kallade Z-konceptet. För vidare information om Z-konceptet och mer utförlig nederbördsdata för svenska förhållanden hänvisas till *Svenskt Vattens publikation P104* [34]. Figur 12.3 visar regnintensitet som funktion av varaktighet och återkomsttid och figur 12.4 kumulativt regndjup (d_r) för olika regnvaraktigheter. Båda figurerna baseras på ekvationen i tabell 12.1.

Figur 12.3

Regnintensitet som funktion av varaktighet och återkomsttid, enligt Dahlström (2010), [52].



Tabell 12.1

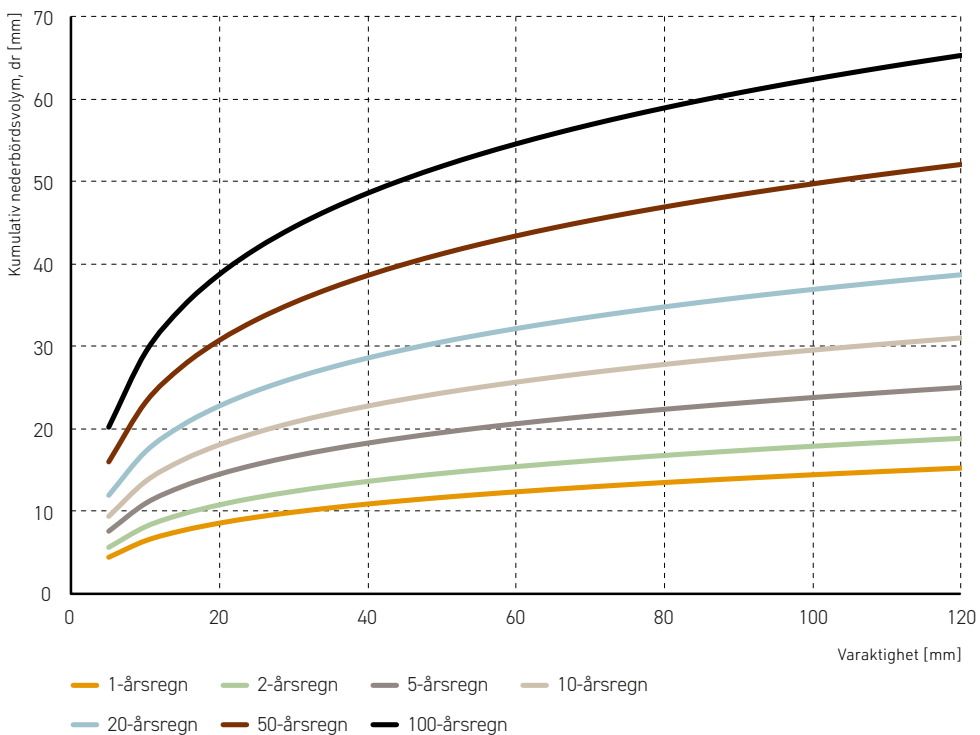
Samband för konstruktion typregn enligt Dahlström (2010), [52].

$$i_A = 190 \cdot \sqrt[3]{A} \cdot \frac{\ln(T_r)}{T_R^{0,98}} + 2$$

Där:
 i_A = regnintensitet [l/s, ha]
 T_r = regnvaraktighet [min]
 A = återkomsttid [månader]

Figur 12.4

Kumulativt regndjup (d_r) för olika regnvaraktigheter, beräknat enligt Dahlström (2010), [52].



Genom att dividera kurvorna i diagrammet med n_f (porositet i förstärkningslager) fås den vattenfyllda zonens höjd (i konstruktionen). Genom att sedan lägga in kurvan för summan av avvattningskapaciteten från avtappning till dräneringsrör (figur 12.2) och terrass (figur 12.1), fås erforderlig förstärkningslagertjocklek som största skillnad mellan kurvorna.



12.3 Räkneexempel

12.3.1 Parkeringsplats 1 – Givet volym (d_r) för omhändertagande

En parkeringsyta i närheten av ett köpcentrum i Stockholmsområdet planeras. I ett första skede planeras ytan vara helt separerad från transportvägar till och från köpcentrumet, det vill säga endast privatpersoner kommer använda ytan som parkering. Liknande parkeringsytor i området har dimensionerats för trafikklass 2, vilket även gäller här. Ytan är 10 000 m² stor. Preliminärt är planen att sektionera ytan in i fyra lika stora delar där hälften utgör parkeringsutrymmen och hälften utgör transportväg. Parkeringsytorna (5 000 m²) är tänkt bestå av dränerande markstenskonstruktioner och transportvägarna (5 000 m²) av asfalterade ytor. Preliminärt avses avrinning från asfaltytorna ledas direkt via brunnar till befintligt dagvattensystem medan nederbörd på parkeringsytorna omhändertas på plats.

Uppgift: Gör en första preliminär bedömning av konstruktionen samt möjlighet för magasinering och fördröjning av dagvatten i förstärkningslagret. Uppskatta tömningstid för vald konstruktion. Utgå ifrån att fördröjningsbehovet är givet, $d_r = 20$ mm (enl PM Beräkningsmetodik för dagvattenflöde, Stockholm Stad [43]). Antag 0,5 som säkerhetsfaktor för variation i terrassens hydrauliska förmåga ($f_K = 0,5$).

**Detaljerad arbetsgång – bärighetsberäkning
(följer arbetsgång enligt avsnitt 7.4):**

1. *Bestäm trafiklast och trafikklass enligt avsnitt 7.3:* Analys av trafiksituationen samt avvägning mot intilliggande ytor och gator ger trafikklass 2.
2. *Fastställ materialtyp i terrassen enligt tabell 7.1:* Enligt fältundersökning fastställs terrassmaterialet vara grusig morän (grMn), Materialtyp 2.
3. *Fastställ hydraulisk konduktivitet i terrassen enligt avsnitt 4.7:* Genom fältförsök har terrassens hydrauliska konduktivitet mätts till 1.0×10^{-6} mm/s (= 0,0036 mm/h).
4. *Fastställ grundvattennivåns läge enligt avsnitt 4.8:* Genom fältmätning har grundvattenytans läge fastställt till ca 1 m under färdig terrass.
5. *Utred eventuella föroreningar i undergrunden samt närhet till grundvattentäkt eller vattenskyddsområde enligt avsnitt 4.9:* Utredning (fältmätningar och dokumentation av tidigare verksamhet inom området samt kontakter med Länsstyrelsen och kommunens exploateringsenhet) visar inga tecken på förhöjda halter av föroreningar. Ingen närhet till vattentäkt eller vattenskyddsområde.
6. *Med ledning av punkt 1–5 samt avsnitt 4.5 bestäm lämpligt System (I, II eller III) för aktuellt objekt:* System I (Dränerande Obunden konstruktion) väljs.
7. *Med ledning av punkt 1–6 samt avsnitt 4.7 bestäm möjlighet till infiltration i terrassen (full-, partiell- eller ingen infiltration) för aktuellt objekt:*
Terrassens infiltrationsförmåga (1.0×10^{-6} mm/s) ligger på gränsen mellan möjlighet till full infiltration till terrass och krav på partiell infiltration (d v s avvattning av överbyggnaden kan ske endast via exfiltration eller behöver avvattnas både till terrass och via dräneringsrör, se tabell 4.2). Initialt undersöks möjlighet till konstruktion med full infiltration till terrass.
8. *Med ledning av punkt 1–7 och tabell 4.1 erhålls typ av System och dess beteckning för bärighetsberäkning:* System typ I - DO(F) väljs (Dränerande Obunden konstruktion, Full infiltration).
9. *Trafikklassen, typkonstruktion samt uppgifter om trafiksituationen för ytan samt ger den information som möjliggör val av marksten med hänsyn till*

format (längd, bredd och tjocklek) och form. Detta har tillsammans med läggningsmönstret betydelse för beläggningens stabilitet och lastfördelande egenskaper. Varje tillverkare tillhandahåller information om vilken trafikklass respektive produkt är lämpad för: Val av markstensbeläggning görs i samråd med tillverkare. Enligt uppgift från tillverkaren har beläggningen ca 8 procent area tillgänglig för infiltration och hänvisar till svenska mätningar som visar att beläggningen har infiltrationskapacitet på ca 10 000 mm/h.

10. *Överbyggnaden och de olika materiallagrens tjocklek framgår av tabell 7.8 System I, II och III: Enligt tabell 7.8 fås följande konstruktion för trafikklass 2 på terrass av materialtyp 2: Dränerande marksten (80 mm), sättmaterial (30 mm krossat 2/5), bärlager (80 mm krossat 4/32), förstärkningslager (263 mm krossat 4/90).*
 11. *Överbyggnadstjockleken är i tabell 7.8 beräknad med 80 mm marksten för trafikklass 0 till 4. Reduktion av tjocklek bör ej ske utan föregående utredning. Om en annan tjocklek används ska den totala överbyggnadstjockleken justeras enligt tabell 7.9. Om exempelvis 60 mm tjock sten används för trafikklass 1, ska förstärkningslagrets tjocklek ökas med 50 mm. Om däremot 100 mm tjock sten används, kan förstärkningslagrets tjocklek minskas med 35 mm. Varje tillverkare tillhandahåller information om vilken trafikklass respektive produkt är lämpad för. Ingen justering av överbyggnaden är nödvändig.*
- I områden där dimensionering med hänsyn till tjällyftning normalt sker, ska detta även göras för markstensöverbyggnader. Punkt 12–13 gäller dimensionering med hänsyn till tjällyftning.
12. *Bestäm tjälfarlighetsklass enligt avsnitt 7.2 (tabell 7.2) och klimatzon enligt figur 7.1: Grusig Morän (GrMn) bedöms vara tjälfarlighetsklass 1. Stockholm ligger i klimatzon 2.*
 13. *Kontrollera den totala överbyggnadstjockleken med hänsyn till tjällyftning enligt tabell 7.10: Ingen justering med hänsyn till tjällyftning är nödvändig.*
 14. *Överbyggnadstjocklek har nu räknats fram med hänsyn bärighet (punkt 1–11) och m h t tjällyftning (punkt 12–13). Största tjocklek är dimensionerande och ska väljas: Slutlig förstärkningslagertjocklek med avseende på bärighet är 263 mm.*

Detaljerad arbetsgång – hydraulisk analys
(följer arbetsgång enligt avsnitt 8.7):

1. *Med ledning av avsnitt 4.10, gör lämplighetsbedömning av möjlighet för konstruktion med full, partiell eller ingen infiltration:* Se punkt 1–11 under Arbetsgång – bärighetsberäkning. Riskbedömning och konsekvensbeskrivning påvisar inga särskilda risker eller allvarliga konsekvenser för exempelvis närliggande byggnader, recipient eller människors hälsa om konstruktionen skulle överfyllas eller haverera. Konstruktionen ingår heller inte i en större kedja av åtgärder där eventuella risker måste övervägas. Platsen bedöms som lämplig för samtliga konstruktionstyper.
2. *Med ledning av avsnitt 4.5–4.6 gör en teknisk bedömning av lämplig typkonstruktion:* Se punkt 1–8 under Arbetsgång – bärighetsberäkning. Platsen bedöms som lämplig för samtliga konstruktionstyper.
3. *Med ledning av avsnitt 7.4 "Arbetsgång – Bärighetsberäkning", punkt 1–8 erhålls slutligt val av System (I, II eller III) och dess beteckning (exempelvis DO(F), DB(P) etc):* Se punkt 1–11 under Arbetsgång – bärighetsberäkning. Primärt undersöks möjlighet för konstruktionstyp DO(F), sekundärt DO(P).
4. *Med ledning av lokala föreskrifter eller Svenskt Vatten P110 [33], bestäm dimensionerande regndjup (d_r) som ska omhändertas, eller utgå från regnintensitet (i_{dim}) med tillhörande varaktighet (t_{dim}) och skapa envelopkurvor (med kumulativt regndjup) för olika återkomsttider enligt Dahlström (2010) [48], [52]. Fördröjningsbehovet är givet, $d_r = 20$ mm.*

Full infiltration:

14. *Beräkna dimensionerande mängd infiltrerande vatten (V_{in}) enligt avsnitt 8.3, tabell 8.2.* Fördröjningsbehovet är givet, $d_r = 20$ mm, enligt PM Beräkningsmetodik för dagvattenflöde, Stockholm Stad [43].
15. *Beräkna maximalt erforderlig magasinhöjd (d_{max}) enligt avsnitt 8.3.*

$$d_{max} = \frac{V_{in}}{A_D \cdot n_f} = \frac{d_r}{n_f} = \frac{20}{0,25} = 80 \text{ mm}$$

Där:

- d_{max} = Maximalt erforderlig tjocklek på förstärkningslager för magasinering [m], utan avtappning under regnets varaktighet.
 V_{in} = Infiltrerande vattenmängd, enligt ekvation i tabell 8.2 [m³].
 A_D = Dränerande ytans area [m²].
 n_f = Förstärkningslagrets porositet [$>0,25$, dimensionslös].

16. Beräkna dimensionerande magasinshöjd, d_{dim} enligt tabell 8.6 och tabell 8.5 (med tidssteg = t_{dim}). System med full infiltration har inga dräneringsrör och $d_d = 0$. Detta ger: $d_{dim} = d_{max} - d_r$. t_{dim} är inte givet, men kumulativt regndjup (d_r) för olika regnvaraktigheter, kan beräknas enligt Dahlström (2010) (se figur 12.4). Till exempel för ett 2-årsregn motsvarar $d_r = 20$ mm intensiteten av nederbörd för 2,5 timmars varaktighet. För ett 5-årsregns motsvarar $d_r = 20$ mm, intensiteten av nederbörd med varaktighet ca 55 min. Eftersom t_{dim} är inte givet väljs det mera konservativa $d_{dim} = d_{max} = 80$ mm.
17. Beräkna avvattningsskapaciteten, ($d_t + d_d$), av förstärkningslagret för önskad tömningstid (t ex 24 h) enligt tabell 8.4 och tabell 8.5. Antag önskat tömningstid är 24 timmar. System med full infiltration har inga dräneringsrör och $d_d = 0$. Detta ger:

$$d_t = \frac{t \cdot f_k \cdot K_t}{n_f} \cdot i = \frac{24 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 10^{-6} \cdot 3\,600}{0,25} \cdot 1,5 =$$

$$= 0,26 \left[\frac{m}{24h} \right] \approx 260 \left[\frac{mm}{24h} \right]$$

18. Om $d_{dim} \geq dt$, enligt tabell 8.7, måste magasinshöjden ökas, avståndet mellan dräneringsrören (S) minskas eller area på eventuell avrinningsyta (A_r) minskas: $d_{dim} < d_r$ uppfylls mer än väl och terrassen har förmåga att avvattna 260 mm förstärkningslager på 24 timmar, vilket är mera än tre ggr den vattenfyllda zonens höjd (80 mm). Beräknat avvattning sker enbart genom infiltration till terrass.
19. Passningsräkna om punkt 14–19, tills villkoret $d_{dim} < d_r$, enligt tabell 8.7 uppfylls: Villkoret uppfyllt, passningsräkning ej nödvändigt.
20. Fortsätt till punkt 29.
29. Jämför dimensionerande magasin tjocklek (d_{dim}) med dimensionerande tjocklek på förstärkningslager med hänsyn till bärighet och tjällyftning enligt avsnitt 7.4 "Arbetsgång – Bärighetsberäkning". Största tjocklek på förstärkningslager är dimensionerande och ska väljas som dimensionerande förstärkningslagertjocklek. Övriga lagers tjocklekar ges av avsnitt 7.4.

Enligt bärighetsdimensioneringen fås följande konstruktion för trafikklass 2 på terrass av materialtyp 2: Dränerande marksten (80 mm), sättmaterial (30 mm krossat 2/5), bärlager (80 mm krossat 4/32), förstärkningslager (263 mm krossat 4/90). Enligt den hydrauliska analysen behövs endast 80 mm förstärkningslager för fördröjning av dimensionerande regndjup ($d_r = 20$ mm). Terrassen har förmågan att avvattna 260 mm förstärkningslager per dygn (ca 7 timmar för 80 mm), vilket väl överstiger kraven.

Enligt de givna förutsättningarna avses preliminärt att avrinning

från asfaltytorna (5 000 m²) leds direkt via brunnar till befintligt dagvattensystem medan nederbörd på parkeringsytorna (5 000 m²) infiltreras genom beläggningen. Konstruktionens höga förmåga att omhänderta infiltrerande nederbörd i kombination med terrassens avvattningsförmåga av förstärkningslagret möjliggör dock att all nederbörd inom området (totalt 10 000 m²) skulle kunna infiltreras i konstruktionen. Detta skulle kunna leda till avsevärda besparingar med avseende på dräneringssystem av dagvatten från asfaltytorna. Om all nederbörd inom området infiltreras i konstruktionen ges följande (ingen avrinningskoefficient för asfaltytorna används, vilket är ett konservativt antagande):

$$d_{max} = \frac{V_{in}}{A_D \cdot n_f} = \frac{d_r}{n_f} = \frac{2 \cdot 20}{0,25}$$

$$= 160 \text{ mm} < 263 \text{ mm (min tjocklek enl bärighetsberäkning)}$$

Terrassen har förmågan att avvattna 260 mm förstärkningslager per dygn (ca 15 timmar för 160 mm vattenfylld zon), vilket väl överstiger kraven.

12.3.2 Parkeringsplats 2 – Regnenveloper, översiktlig beräkning

Samma parkeringsplats som i exempel 12.3.1. Dock har förnyade grundundersökningar reviderat klassificeringen av terrassmaterial till Siltig sandig morän (SiSaMn) med hydraulisk konduktivitet $K_t = 5,0 \times 10^{-7}$ m/s. Terrassmaterialet bedöms dock fortfarande tillhöra materialtyp 2, det vill säga bärighetsberäkningen och krav till tjocklek på förstärkningslager förblir oförändrat (min 263 mm) jämfört med beräkning enligt exempel 12.3.1. Man önskar även utföra trädplantering centralt i ytan och vill därför öppna upp förstärkningslaget ytterligare. Som förstärkningslager används 16/90 istället för som tidigare planerat 4/90. Nya mätningar på hydraulisk konduktivitet på förstärkningslager ger hydraulisk konduktivitet $K_f = 5,0 \times 10^{-3}$ m/s. Den förnyade grundundersökningen visar på relativt låg infiltrationskapacitet i terrassen så konstruktion med partiell infiltration (DO(P)) antas. Antag initialt 12 m avstånd mellan dräneringsrör och 2 procent lutning på terrass.

Uppgift: Kontrollera fördröjningsmöjlighet och tömningstider för olika åtkomsttider exempelvis $\bar{A} = 2, 10, 50$ och 100 år.

Förenklad arbetsgång – bärighetsberäkning:

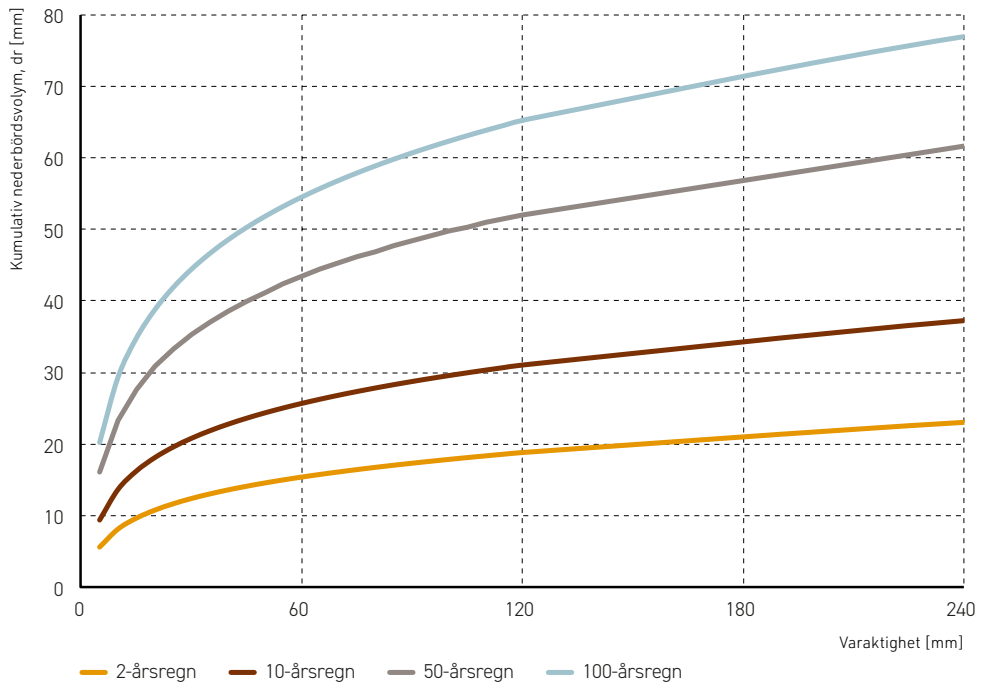
Jämfört med exempel 12.3.1, har inga förändringar gjorts som påverkar bärighetsberäkningen. Enligt tabell 7.8 fås följande konstruktion för trafikklass 2 på terras av materialtyp 2: Dränerande marksten (80 mm), sättmaterial (30 mm krossat 2/5), bärlager (80 mm krossat 4/32), förstärkningslager (263 mm krossat 16/90).

Förenklad arbetsgång – översiktlig hydraulisk analys:

Konstruera i lämpligt kalkylark kumulativt regndjup (d_r) för olika regnvaraktigheter, enligt Dahlström (2010), ekvation enligt tabell 12.1 [52]. Ur ekvation enligt tabell 12.1 fås regnintensitet (l/s, ha eller mm/h) som funktion av varaktighet (minuter) och återkomsttid (år) enligt figur 12.3. Figur 12.3 kan sedan konverteras till kumulativt regndjup (d_r) som funktion av varaktigheterna 2, 10 och 100 år (figur 12.5).

Figur 12.5

Kumulativt regndjup (d_r) som funktion av varaktigheterna 2, 10, 50 och 100 år.



Figur 12.5 kan ytterligare konverteras genom att dividera y-axelns värden (kumulativt regndjup) med förstärkningslagrets porositet. På detta sätt fås kumulativ höjd för vattenfyllda zonen i förstärkningslagret. Genom att sedan lägga in kurvan för summan av avvattningskapaciteten från avtappning till dräneringsrör (enligt ekvation i tabell 8.5) och terrass (enligt ekvation i tabell 8.4), fås erforderlig förstärkningslagertjocklek som största skillnad mellan kurvorna.

Totala avvattningskapaciteten ges av (beräknas i lämpligt kalkylark):

Ekvation 1

$$d_t + d_d = \frac{t \cdot f_K \cdot K_t \cdot i}{n_f} + \left(\frac{d}{S} \left(\frac{d}{S} + L \right) K_f \right) t =$$

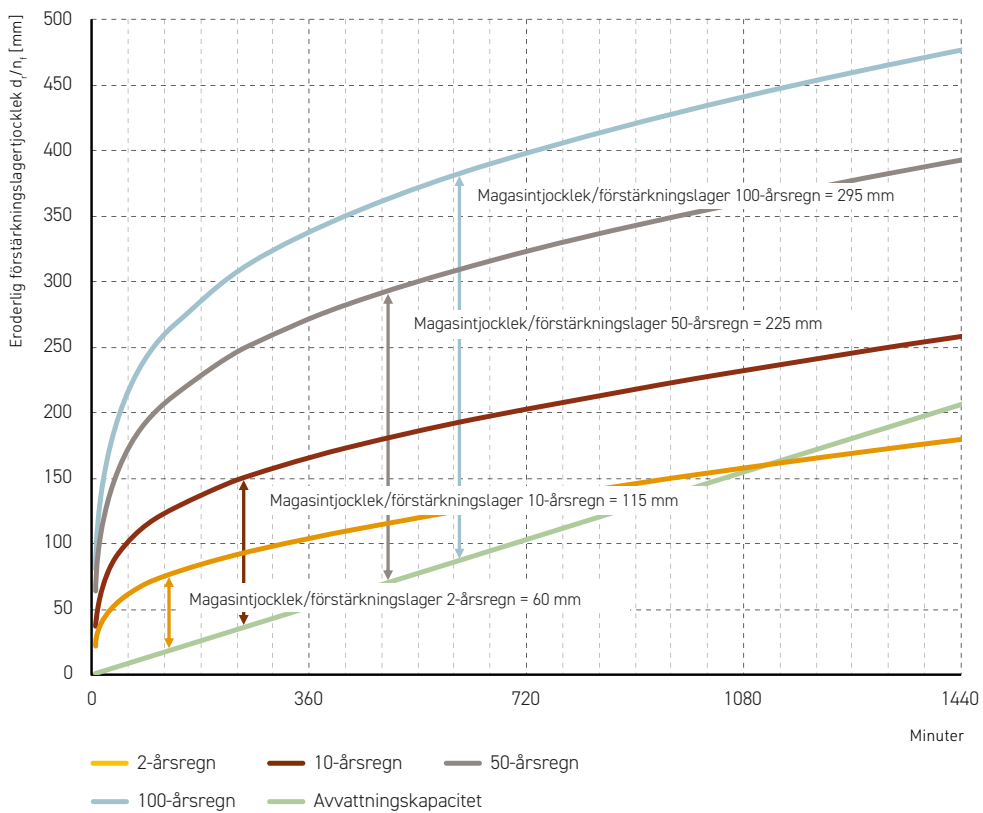
$$= \left[\left(\frac{0,5 \cdot 5,0 \cdot 10^7}{0,25} \cdot 1,5 \right) + \left(\frac{0,08}{12} \left(\frac{0,08}{12} + 0,02 \right) 5,0 \cdot 10^{-3} \right) \right] \cdot t$$

Notera att i ekvation 1 har d (vattenfyllda zonens höjd) satts till $d = 0,08$ m (för porositeten 0,25 motsvarar detta 20 mm nederbörd). Initialt är den vattenfyllda zonens höjd (d v s minimum magasinshöjd) i detta exempel inte känt, men kan för översiktlig beräkning antas som rimligt startvärde.

Om ekvationen på föregående sida ritas in i figur 12.5 fås resultatet enligt figur 12.6.

Figur 12.6

Regnenveloper och avvattningskapacitet för givna förutsättningar.



Ur figuren (eller enklast ur kalkylarket) fås erforderlig förstärkningslagertjocklek som största skillnad mellan regnenveloperna (2-, 10-, 50- och 100-årsregn) och kurvan för avvattning av förstärkningslagret. Skalning ger erforderlig förstärkningslagertjocklek på ca 60, 115, 225 och 295 mm för respektive 2-, 10-, 50- och 100-årsregn. Jämförs tjocklek från

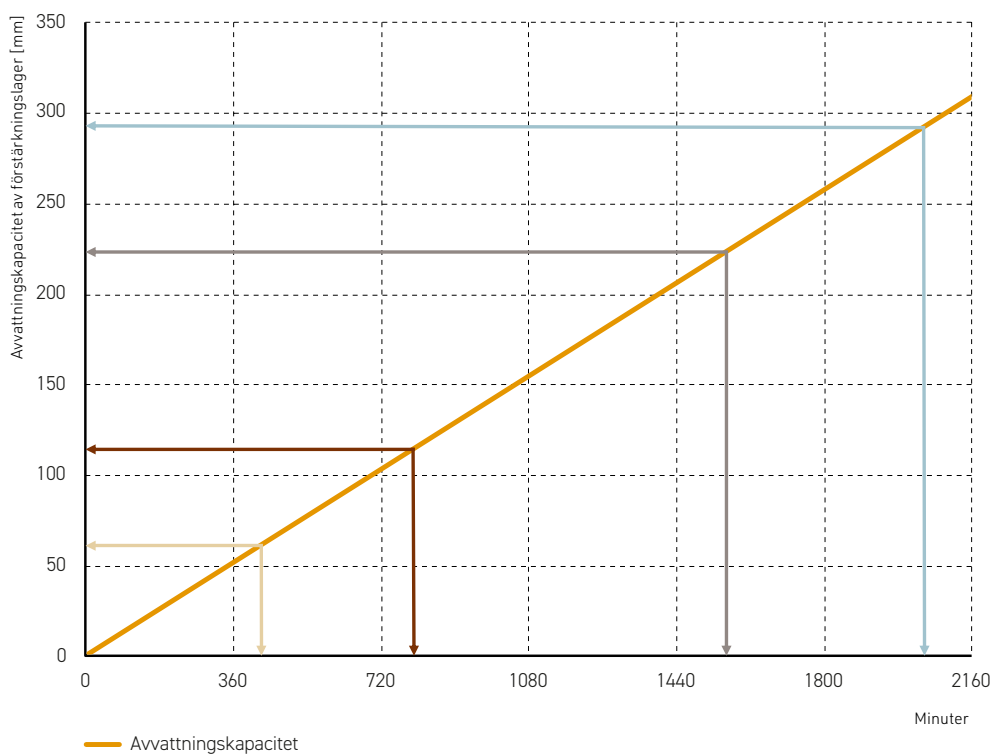
bärighetsberäkningen (min 263 mm) fås att överbyggnaden skulle klara ett 50-årsregn (min 225 mm).

Notera att eftersom att i ekvation 1 har d (vattenfyllda zonens höjd) satts till $d = 0,08$ (för porositeten 0,25 motsvarar detta 20 mm nederbörd). Detta är dock en förenklad ansats eftersom zonens höjd (det vill säga minimum magasintjocklek) för 10-, 50- och 100-årsregnet kommer vara betydligt högre. Den vattenfyllda zonens höjd (och därmed den drivande kraften som åstadkommer avvattning av överbyggnaden) underskattas om $d = 0,08$. Detta är dock ett konservativt antagande (som ger resultat på säkra sidan). Om erforderlig tjocklek från bärighetsberäkningen är utslagsgivande är det inte nödvändig med fördjupad analys (exempelvis i detta fall för 2- och 10-årsregn). Om tjocklek från bärighetsberäkning och hydraulisk analys ligger nära varandra (exempelvis i detta fall för 50- och 100-årsregn) bör fördjupad analys utföras, se vidare avsnitt 12.3.3.

Tömningstiderna (vid uppehåll) under givna förutsättningar för erforderlig förstärkningslagertjocklek på ca 60, 115, 225 och 295 mm för respektive 2-, 10-, 50- och 100-årsregn, illustreras i figur 12.7.

Figur 12.7

Avvattningskapacitet och tömningstider för olika återkomsttider.



Skalning i figur 12.7 (eller lämpligast beräkning i kalkylblad) ger tömningstider på ca 7, 13.5, 26 och 34 timmar för 2-, 10-, 50- respektive 100-årsregn. Jämförs tjocklek från bärighetsberäkning trafikklass 2 på terrass av materialtyp 2 (263 mm) med beräknad tjocklek från hydraulisk analys fås att överbyggnaden klarar ett 50-årsregn med tömningstid på ca 26 timmar under givna förutsättningar.

Notera att eftersom ekvation 1 har d (vattenfyllda zonens höjd) satts till $d = 0,08$ (för porositeten 0,25 motsvarar detta 20 mm nederbörd). Detta är dock en förenklad ansats som för de längre återkomsttiderna (10-, 50- och 100-årsregn) underskattar den drivande kraften som åstadkommer avvattning av överbyggnaden. Om d antas betydligt lägre än faktiskt behov av magasintjocklek (t ex 292 mm för 100-årsregn) överskattas tömningstiden (d v s längre tömningstid) än verklig tömningstid. Om beräknad tömningstiden är liggar över eller nära uppställda krav på tömningstid, bör fördjupas analys utföras, se vidare avsnitt 12.3.3.

12.3.3 Parkeringsplats 3 – Regnenveloper, fördjupad beräkning

Samma parkeringsplats som i exempel 12.3.1 med samma tekniska förutsättning som i exempel 12.3.2. Bärighetsberäkning, enligt exempel 12.3.1, gav för trafikklass 2 och terrass av materialtyp 2 minsta förstärkningslagertjocklek på 263 mm. Motsvarande gav översiktlig hydraulisk analys, enligt exempel 12.3.2, minimum förstärkningslagertjocklek på ca 60, 115, 225 och 295 mm för respektive 2-, 10-, 50- och 100-årsregn. Tömningstiderna beräknades översiktligt till ca 7, 13.5, 26 och 34 timmar för de olika återkomsttiderna.

I den hydrauliska analysen enligt avsnitt 12.3.2 antogs den vattenfyllda zonens höjt till $d = 0,08$ m genom hela analysen. I praktiken motsvarar d (det vill säga vattenfyllda zonens höjd) minimum magasinshöjd/förstärkningslagertjocklek för fördröjning av dagvatten. För de längre åtkomsttiderna kommer behovet av magasinshöjd den vattenfyllda zonens höjd (och därmed den drivande kraften som åstadkommer avvattning av överbyggnaden) överskattas om $d = 0,08$. En fördjupad analys av minimum magasinshöjd/förstärkningslagertjocklek samt korresponderande tömningstider önskas genomfört för de längre återkomsttiderna (50- och 100-årsregn).

Arbetsgång – fördjupad hydraulisk analys:

Arbetsgången för beräkning av infiltrerande vattenmängd motsvarar exempel 12.3.2. Konstruera i lämpligt kalkylark kumulativt regndjup (d_r) för olika regnvaraktigheter, enligt Dahlström (2010), ekvation enligt tabell 12.1 [52]. Ur ekvation enligt tabell 12.1 fås regnintensitet (l/s, ha eller mm/h) som funktion av varaktighet (minuter) och återkomsttid (år) enligt figur 12.3. Figur 12.3 kan sedan konverteras till kumulativt regndjup (d_r) som funktion av varaktigheterna 2, 10 och 100 år (figur 12.5). Figur 12.5 kan ytterligare konverteras genom att dividera y-axelns värden (kumulativt regndjup) med förstärkningslagrets porositet. På detta sätt fås kumulativ höjd för vattenfyllda zonen i förstärkningslagret.

Genom att i kalkylarket lägga in kurvan för summan av avvattningskapaciteten från avtappning till dräneringsrör (enligt ekvation i tabell 8.5) och terrass (enligt ekvation i tabell 8.4), fås erforderlig förstärkningslagertjocklek som största skillnad mellan kurvorna. Totala avvattningskapaciteten ges av ekvation 1.

Lösningen söks enklast genom passningsräkning i lämpligt kalkylblad, där slutlig lösning konvergerar när beräknat minimum magasin höjd/ förstärkningslagertjocklek motsvarar antagen höjd på vattenfylld zon (d) i ekvation 1. Antag startvärde för den vattenfyllda zonens höjd (d) till 0,08 m. I exempel 12.3.2 gav $d = 0,08$ största skillnad mellan kurvorna (det vill säga minsta magasin tjocklek/förstärkningslagertjocklek) på 0,295 m för 100-årsregnet. I steg två används $d = 0,295$ som startvärde för d. Resultatet från denna passning används sedan som startvärde i nästa, o s v. Proceduren upprepas sedan tills skillnaden mellan antaget värde på d och minsta magasin tjocklek/förstärkningslagertjocklek överensstämmer. Observera att det enda som varierar är avvattningskapaciteten av överbyggnaden. Kumulativt regndjup (d_r) för olika regnvaraktigheter förblir den samma genom hela passningsräkningen. Resultaten från passningsräkning (utfört i kalkylark) ges i tabell 12.2.

Tabell 12.2

Passningsräkning av minsta magasin tjocklek/förstärkningslager för omhändertagande av 50- och 100-årsregn.

Passningsräkning av erforderligt magasin tjocklek			
50-årsregn		100-årsregn	
d (m)	Tjocklek magasin/förstärkningslager (m) ⁽¹⁾	d (m)	Tjocklek magasin/förstärkningslager (m) ⁽¹⁾
0,08	0,225	0,08	0,295
0,225	0,175	0,295	0,213
0,175	0,189	0,213	0,238
0,189	0,185	0,238	0,230
0,185	0,186	0,230	0,232
0,186	0,186	0,232	0,232

(1) Minsta tjocklek för magasin/förstärkningslager för fördröjning av dagvatten fås som största skillnad mellan kurvorna för kumulativ höjd för vattenfyllda zonen i förstärkningslagret och avvattningskapaciteten för motsvarande återkomsttid.

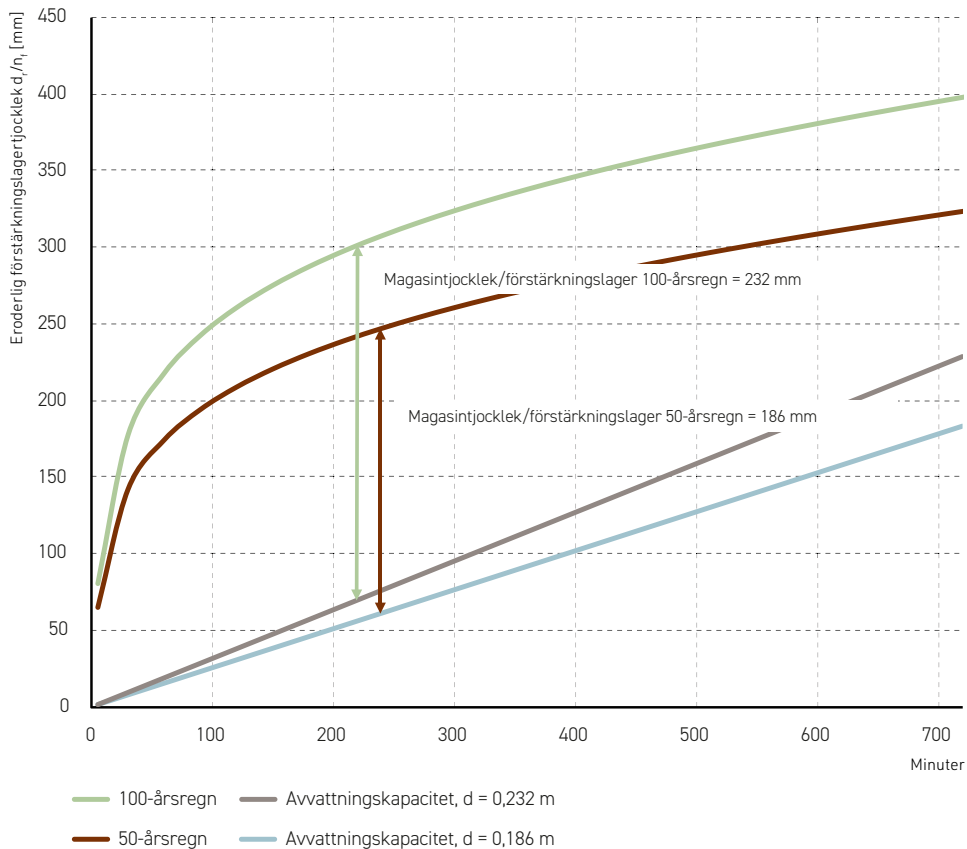
Fördjupad analys ger minimum ca 0,186 respektive 0,232 m magasinshöjd för fördröjning av 50- och 100-årsregn. Dessa tjocklekar ska jämföras med minsta tjocklek med avseende på bärighet, det vill säga 0,263 m för trafikclass 2 på terrass av materialtyp 2. Jämförelsen ger att tjocklek med avseende på bärighet blir dimensionerande och att konstruktionen under givna förhållanden klarar att magasinera och fördröja ett 100-årsregn. Regnenvoloper, avvattningskapacitet och minimum magasin- förstärkningslagertjocklek illustreras i figur 12.8.

Kontroll av tömningstid görs på samma sätt som i exempel 12.3.3 och illustreras i figur 12.9. I båda fallen är tömningstiden ca 12 timmar (vid uppehåll).

Avslutande kommentar: I exemplen ovan har ingen klimatfaktor beaktats. En översiktlig kontroll visar dock att för 50-årsregn och klimatfaktor 1,3

Figur 12.8

Minimum magasin-/förstärkningslagertjocklek för 50- och 100-årsregn.



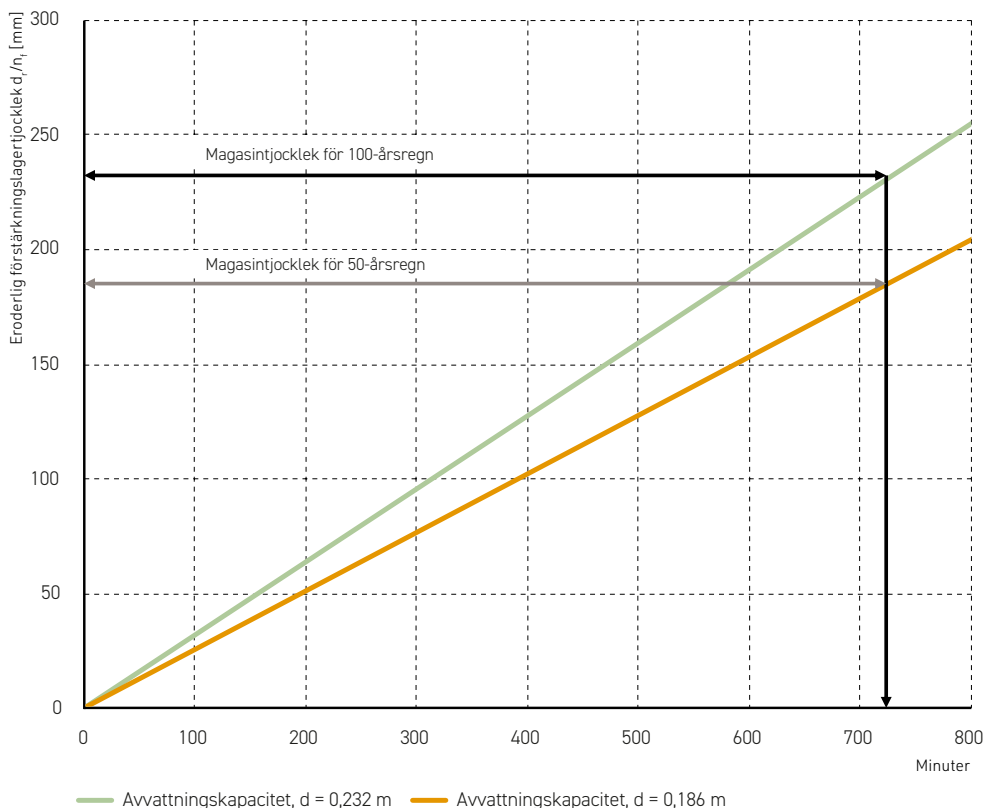
skulle tjocklek med avseende på bärighet fortfarande bli dimensionerande. För 100-årsregn går gränsen vid klimatfaktor ca 1,2. Däröver blir förstärkningslagrets tjocklek med avseende på magasinering dimensionerande.

I exemplen har eventuell avdunstning av nederbörden (och som därmed inte infiltrerar i konstruktionen) inte beaktats. Andel av nederbörd som avdunstar kan normal antas till ca 15–20 procent för denna typ av beläggning [57]. Att utelämna avdunstningen ger en konservativ beräkning.

I exemplen har heller ingen avrinningskoefficient för beläggningen beaktats, och all nederbörd som faller på ytan antas infiltrera. Beroende på nederbördens intensitet eller varaktighet samt hur väl ytan har underhållits kan man normalt räkna med att ca 0–15 procent avrinning på denna typ av konstruktion [58]. Att utelämna eventuell avrinning ger en konservativ beräkning. I exemplen ovan torde effekterna av utelämnad klimatfaktor, avdunstning och avrinning någorlunda balansera varandra.

Figur 12.9

Avvattningskapacitet och tömningstider för 50- och 100-årsregn.



12.4 Enhetskonvertering

Tabell 12.3

Enhetskonvertering, efter [34], [35].

Jordart	Permeabilitet [m/s]	Permeabilitet [m/h]	Permeabilitet [mm/h]	Permeabilitet [mm/dygn]
Moräner				
Grusig morän	$10^{-5} - 10^{-7}$	$4 \times 10^{-2} - 4 \times 10^{-4}$	40 – 0,4	900 – 9
Sandig morän	$10^{-6} - 10^{-8}$	$4 \times 10^{-3} - 4 \times 10^{-5}$	4 – 0,04	90 – 0,9
Moig morän	$10^{-7} - 10^{-9}$	$4 \times 10^{-4} - 4 \times 10^{-6}$	0,4 – 4×10^{-3}	9 – 0,09
Lerig morän	$10^{-8} - 10^{-10}$	$4 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-7}$	0,04 – 4×10^{-4}	0,9 – 9×10^{-3}
Moränlera	$10^{-9} - 10^{-11}$	$4 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-8}$	$4 \times 10^{-3} - 4 \times 10^{-5}$	0,09 – 9×10^{-4}
Sediment				
Fingrus	$10^{-1} - 10^{-3}$	$4 \times 10^2 - 4,0$	$4 \times 10^5 - 4 \times 10^3$	$9 \times 10^6 - 9 \times 10^4$
Grovsand	$10^{-2} - 10^{-4}$	40 – 0,4	$4 \times 10^4 - 4 \times 10^2$	$9 \times 10^5 - 9 \times 10^3$
Mellansand	$10^{-3} - 10^{-5}$	4,0 – $4,0 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^3 - 40$	$9 \times 10^4 - 900$
Finsand	$10^{-4} - 10^{-6}$	0,4 – $4,0 \times 10^{-3}$	400 – 4	$9 \times 10^3 - 90$
Grovsilt	$10^{-5} - 10^{-7}$	$4 \times 10^{-2} - 4,0 \times 10^{-4}$	40 – 0,4	900 – 9
Mjåla	$10^{-7} - 10^{-9}$	$4 \times 10^{-4} - 4,0 \times 10^{-6}$	0,4 – 4×10^{-3}	9 – 0,09
Lera	$< 10^{-9}$	$< 4,0 \times 10^{-6}$	$< 4 \times 10^{-3}$	$< 0,09$
Multiplikationsfaktor				
	1	3 600	$3,6 \times 10^6$	$8,64 \times 10^7$
	$2,77 \times 10^{-4}$	1	$1,0 \times 10^3$	$2,4 \times 10^4$
	$2,77 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-3}$	1	24
	$1,16 \times 10^{-8}$	$4,16 \times 10^{-5}$	$4,16 \times 10^{-2}$	1

Tabell 12.4

Enhetskonvertering, efter [34], [35].

1 l/s, ha = 0,36 mm/h	1 mm = $10 \text{ m}^3/\text{ha}$	1 mm/h = 2,78 l/s, ha
1 l/s, ha = 0,1 mm/s	1 mm/s = 10 l/(s, ha)	1 m^3/ha = 0,1 mm





13. Referenser

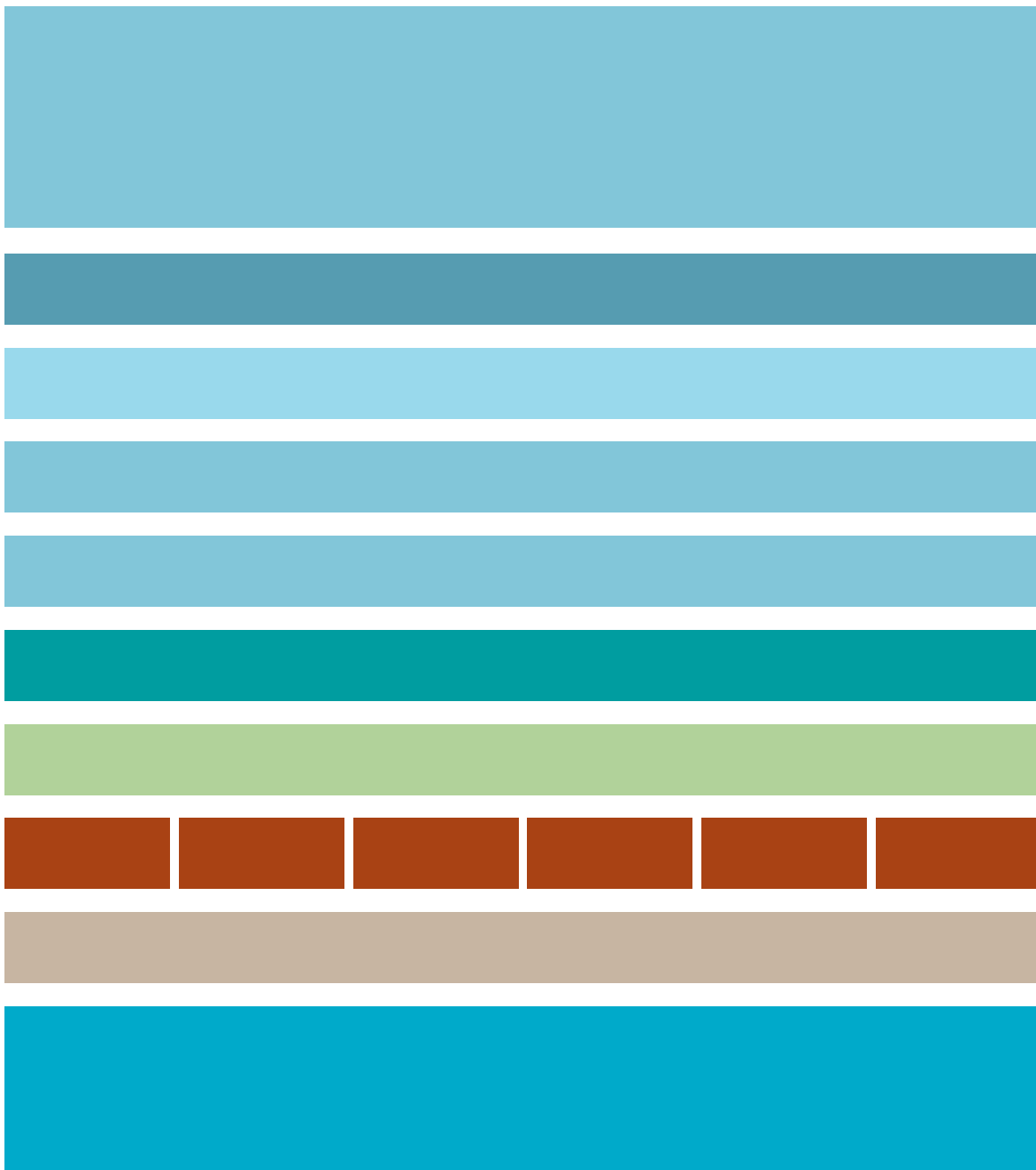
- [1] *Jords egenskaper (2018)*
Larsson, R. Statens Geotekniska Institut, Linköping
- [2] *Design and construction of concrete block permeable pavements, edition 7.*
Interpave (2018), L534:L217. Published by Interpave,
www.paving.org.uk
- [3] *Swedish design tables for permeable block pavements (2017).*
Shafiqur Rahman, Erik Simonsen, Fredrik Hellman.
Vinnova – Utmaningsdriven innovation
– Hållbara attraktiva städer. www.klimatsakradstad.se
- [4] *Mikroklimatet i stadsplaneringen (2017),*
Hans Rosenlund, Vinnova – Utmaningsdriven innovation
– Hållbara attraktiva städer.
- [5] *Permeable Interlocking Pavements (2017),* David R. Smith,
ICPI Fifth edition, ISBN 978-0-9886795-3-5. www.icpi.org
- [6] *Accelererad prövning av dränerande markstensytor med HVS-utrustning (2017).* Fredrik Hellman. Vinnova – Utmaningsdriven innovation
– Hållbara attraktiva städer. www.klimatsakradstad.se
- [7] *Uppmätt hydraulisk konduktivitet på olika krossmaterial i laboratorium och infiltrationsmätningar på vägkonstruktioner i fält med god vattendränerande förmåga (2017).* Magnus Döse och Björn Schouenborg.
Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer.
www.klimatsakradstad.se
- [8] *Standard test method for field measurements of infiltration rate using Double-Ring infiltrometer with sealed-inner ring. ASTM D5093 – 15.*
- [9] *Water pervious pavement blocks: The Belgian Experience (2006).* Anne Beelden and, Gontran Herrier. 8th International Conference on Concrete Block Paving, November 6-8, 2006 San Francisco, California USA.
- [10] *The SuDS Manual, CIRIA report C753 (2018).*
ISBN: 978-0-86017-760- 9. www.ciria.org
- [11] *Överbyggnad med beläggning av natursten och markbetong, för trafikklass ≤ 2, Förenklad dimensionering för stadsliknande miljöer.*
Kurt Johansson, Erik Simonsen, Jan Lang (2017).
Sveriges lantbruksuniversitet, Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap.
Rapport 2017:15, ISBN 978-91-576-8946-7, Alnarp 2017.

- [12] *TRVK Väg, Trafikverkets tekniska krav Vägkonstruktion.*
TRV 2011:072, TDOK 2011:264. Trafikverket 2011.
- [13] *TRVR Väg, Trafikverkets tekniska råd Vägkonstruktion,*
TRV 2011:073, TDOK 2011:267, Trafikverket, 2011.
- [14] *Markstensbeläggningar för Industriytor (2006).*
Erik Simonsen och Johan Silfwerbrand. ISBN 91-97-6041-0-0.
Svensk Markbetong och Cement och Betong Institutet (2006).
- [15] *Svensk Markbetong 2019: Beläggning med plattor och marksten av betong, Projektanvisningar och rekommendationer.*
Tredje utgåvan (2019). ISBN 978-91-519-3476-1.
Svenska Kommunförbundet och Svensk Markbetong (2019).
- [16] *Porous Pavements (2005).* Bruce K. Fergusson. ISBN 9780849326707,
Taylor and Francis, Boca Raton, Florida
- [17] *TRVKB 10 Obundna lager, Trafikverkets Krav Beskrivningstexter för obundna material i vägkonstruktioner,* TRV 2011:083, TDOK 2011:265, Trafikverket (2011).
- [18] *Permeable Pavements in Cold Climates: State of the Art and Cold Climate Case Studies.* John S. Gulliver (2015). Report MN/RC 2015-30.
Minnesota Department of Transportation Research Services & Library.
- [19] *In-situ infiltration performance of permeable concrete block pavement – New results.* Dr Soenke Borgwardt (2015).
In: International Conference on Concrete Block Pavements, ICCBP 2015.
- [20] *Water permeable pavements in Belgium – from research project to real application.* Anne Beeldens et al. (2009), In: 9th. International Conference on Concrete Block Paving (2009).
- [21] *Lokal håndtering af regnvand med permeable belægninger - Anvendelse, udførelse og vedligeholdelse.* Dansk Beton, Beläggingsgruppen (2013).
- [22] *Lasta Lagligt, Vikt- och dimensionsbestämmelser för tunga fordon (2018).*
Transportstyrelsen. Publikationsnr. TS201616, Utg.3, Maj 2018.
- [23] *The SUDS Manual, CIRIA report C697 (2007).*
ISBN 978-86017-697-8. www.ciria.org
- [24] *Krav Bitumenbundna lager (2017).* TDOK 2013:0529. Trafikverket
- [25] *Växtbäddar I Stockholm Stad – En handbok (2009).*
Björn Embrén et al.

- [26] *Geosynthetics for Segmental Concrete Pavements (2016)*.
ICPI Tech Spec No. 22. Interlocking Concrete Pavement Institute. 14801 Murdock Street, Chantilly, VA 20151, USA.
- [27] *Maintenance Guide for Permeable Interlocking Concrete Pavements (2017)*.
ICPI Tech Spec No. 23, Interlocking Concrete Pavement Institute. 14801 Murdock Street, Chantilly, VA 20151, USA.
- [28] *Maintenance of oil-degrading permeable pavements; microbes, nutrients and long-term water quality provision (2006)*.
A.P. Newman et al. In: 8th International Conference on Concrete Block Paving, November 6-8, 2006 San Francisco, California USA.
- [29] *Dränerande markstensbeläggningar för förbättrad miljö (2011)*.
Slutrapport Projekt 2.1.5, MinBaS II, Område 2 Produktutveckling.
- [30] *Krossmaterial från ett entreprenörsperspektiv med fokus på tillverkning och karakterisering (2017)*. Per Murén och Olov Didriksson, NCC Industry AB. Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer. www.klimatsakradstad.se.
- [31] *Dränerande hårdgjorda ytor i stadsmiljö - delrapport 1 (2017)*.
Isac Stigenhed, Per Murén, Ulf Nilsson. NCC Industry AB.
Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer.
www.klimatsakradstad.se
- [32] *Pervious Concrete, Reported by ACI Committee 522*,
ACI 522R-06 (2006)
- [33] *Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem*.
Svenskt Vatten AB. Publikation P110. ISSN 1651-4947 (2016)
- [34] *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*.
Svenskt Vatten AB. Publikation P104. ISSN 1651-4947 (2011).
- [35] *Att räkna på vatten – en formelsamling för landskapsingenjörer*.
Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp, Persson, Fridell, Gustafsson
och Englund (2014).
- [36] *Review of pervious pavement dimensioning, hydrological models and their parameter needs (2013)*.
State-of-the-Art. Research report, VTT-R-08227-13.
Korkealaakso, J., Kuosa, H., Niemeläinen, E. & Tikanmäki, M.
- [37] *StormTac Storm Water Solutions*, www.stormtac.com.

- [38] *Practical Drainage for Golf, Sportsturf and Horticulture*. McIntyre, Keith; Jakobsen, Bent. ISBN: 9781575041391. Publ. Wiley. (2000).
- [39] *Horisontellt flöde i öppen överbyggnad*. PM. Kent Fridell (opubl).
- [40] *Hållbar dag- och dränvattenhantering – råd vid planering och utförande*. Svenskt Vatten AB. Publikation P105. ISSN 1651-4947, (2011).
- [41] *Hydraulic design of permeable interlocking pavements (2016)*. John T. Kevern et al. Final Report, ICPI2016-01.
- [42] *Regnenveloppmetoden (1982)*. Sjöberg, A. et al. Chalmers Tekniska Högskola, Meddelande 64, ISSN 0347-8165.
- [43] *Beräkningsmetodik för dagvattenflöde och föroreningstransport*. PM, Stockholm Vatten (2017).
- [44] *Byggsektorns egenkontroll (2014)*. H. Severinson. Svensk Byggtjänst, ISBN: 9789173336741.
- [45] *Sustainable drainage systems. Hydraulic, structural and water quality advice (2004)*. Wilson, S. et al. CIRIA C609, ISBN:0-86017-609-6.
- [46] *KRAV, Obundna lager för vägkonstruktioner*. TDOK 2013:0530, Trafikverket (2014).
- [47] *Long-Term In-Situ Infiltration Performance of Permeable Concrete Block Pavement (2006)*. Soenke Borgwardt, 8th International Conference on Concrete Block Paving, November 6-8, 2006 San Francisco, California USA.
- [48] *Dagvattenhantering. Riktlinjer för kvartersmark i tät stadsbebyggelse (2016)*. Miljöförvaltningen, Stockholms stad.
- [49] *Minnesota Stormwater Manual (2018)*. Minnesota Pollution Control Agency, <https://stormwater.pca.state.mn.us>
- [50] *The SUDS Manual (2015)*. IRIA report C697, ISBN:978-0-86017-760-9.
- [51] *A design manual for sizing infiltration ponds (2003)*. Massman, J. W. Report no. WA-RD 578.2. Washington State Department of Transportation.

- [52] *Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse (2010).*
Dahlström, B. SVU Rapport 2010-05.
- [53] *Drift- och underhållsmanual för BGG-system – Instruktioner för drift och underhåll av grön-blå-grå system i gaturum (2019).*
F. Bruhn, K. Fridell. Edge 2019.
- [54] *Grävningsmanual för BGG-system– Instruktioner för grävning i eller nära grön-blå-grå system i gaturum (2019).*
Bilaga 3. F. Bruhn, K. Fridell. Edge 2019.
- [55] *Levande gaturum – en handbok i grön-blå-grå system (2019).*
A. Thynell, K. Fridell. Edge (2019).
- [56] *Pervious pavement systems and materials (2013).*
State-of-the-Art. Research report, VTT-R-08222-13.,
Kuosa, H., Niemeläinen, E. and Loimula, K.
- [57] *Field measurements of evatranspiration rates on seven pervious concrete pavement systems (2013).* Proceedings, Novatech 2013, 23.-27.
June 2013, Lyon. Göbel, P. Starke, P., Voss, A., Coldewey, W.G.
- [58] *Simulation study on effect of permeable pavement on reducing flood risk of urban runoff (in press).*
Accepted for publication Dec 2018. International Journal of
Transportation Science and Technology. Elsevier. Haoran Zhua,
Mingming Yua, Junqing Zhua, Haizhu Luc and Rongji Cao.
- [59] *Dagvattenhantering. Riktlinjer för parkeringsytor (2016).*
Miljöförvaltningen, Stockholms stad.
- [60] *AMA Anläggning 20.*
Svensk Byggtjänst.



Fler exemplar av denna skrift
kan beställas på svenskmarkbetong.se



steriks.se
benders.se
starka.se
cementa.se
svenskmarkbetong.se