

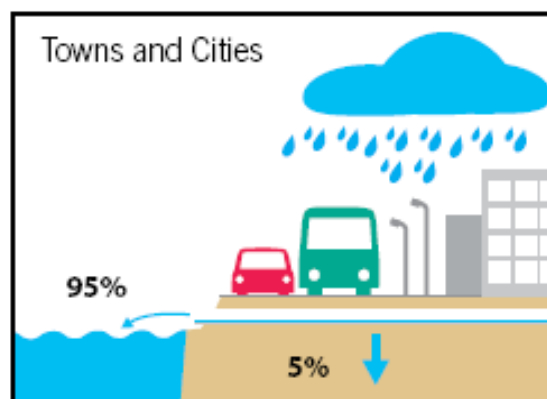
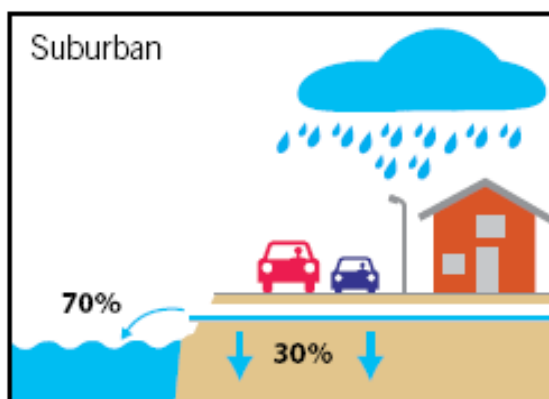
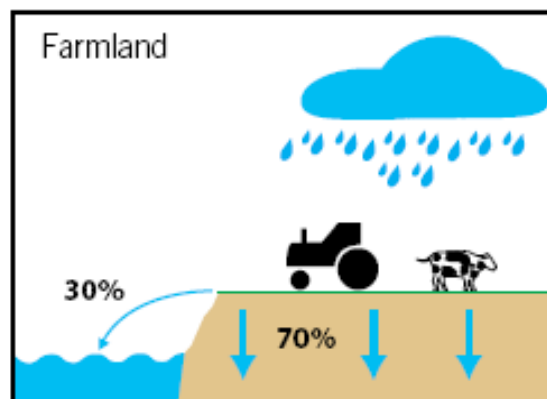
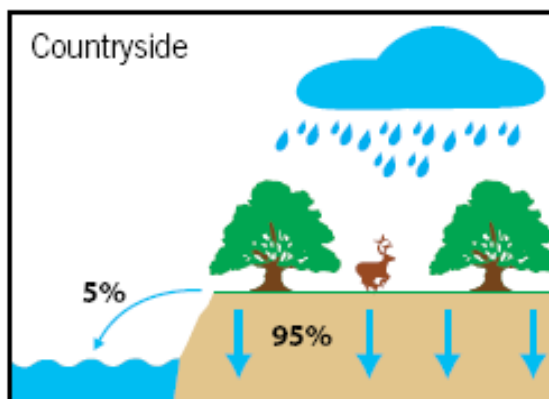
MinBaS II Område 2 Produktutveckling

Delområde 2.1 Nya användningsområden

Projekt 2.1.5. Dränerande markstensbeläggningar för förbättrad miljö

Dränerande markstensbeläggningar för förbättrad miljö

Slutrapport Projekt nr 2.1.5



Interpave Bild: ©

Erik Simonsen

Stockholm september 2011

INNEHÅLL

Förord.....	3
Bakgrund.....	4
Ursprunglig projektriktning.....	6
Slutlig projektriktning.....	7
Sammanfattning.....	8
Vidare arbeten.....	9
Referenser.....	11
Appendix A Marknadsanalys kommunala exploatörer.....	12
Appendix B Marknadsanalys privata exploatörer.....	24
Appendix C Kunskapssammanställning.....	30

FÖRORD

Föreliggande rapport beskriver resultaten från MinBaS-projekt 2.1.5 Dränerande markstombsbeläggningar för förbättrad miljö. Projektet har utförts vid VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut), SWECO Environment AB och Cementa AB. Projektet har i sin helhet finansierats av MinBaSII och Cementa AB. Projektledare har varit Erik Simonsen, Cementa AB.

Stockholm september 2011

Erik Simonsen
Cementa AB

Bakgrund

Den kraftiga urbaniseringen sedan 1900-talets början har medfört en kraftig ökning av mängden hårdgjorda ytor. Hårdgjorda ytor förändrar det hydrologiska kretsloppet, minskar grundvattenbildning i städerna och förändrar livsbetingelserna för växter och djur. Vid häftiga regn rinner stora mängder vatten, som kan innehålla föroreningar och partiklar från biltrafiken, ofta utan rening rakt ut i recipienten. Utan naturlig fördröjning kan dessutom häftiga regn förorsaka stora lokala översvämningar. I samband med kommande klimatförändringar förväntas problemen ytterligare öka med uppkomsten av ökande och intensivare nederbörd. Detta har redan aktualiserats i ett flertal svenska kommuner i samband med sommarens intensiva nederbörd.

Exempel på ny teknik som kan bidra till att minska problemen är dränerande markstensbeläggningar. Permeabla markstensbeläggningar fungerar utifrån principen att tillåta dränering av regnvatten ned igenom beläggningen och ned till underliggande lager. Dräneringen åstadkoms igenom olika typer av perkolationsöppningar i stenarna. Jämfört med en traditionell markstensbeläggning infiltrerar en permeabel markstensbeläggning avsevärt mycket mera regnvatten. Även jämfört med en traditionell dränerande asfaltbeläggning skiljer sig dränerande markstensbeläggning genom att en öppen överbyggnad med hög infiltrationskapacitet eftersträvs.

Permeabel beläggning gör att vattenbalansen och grundvattennivån i marken behålls på en naturlig nivå, vilket har många fördelar. Mängden avdunstat vatten ökar till godo för det lokala klimatet, och därtill gynnas sådana mikroorganismer som kan oskadliggöra till exempel petroleumprodukter från trafik som följer med regnvattnet.

Permeabla markstensbeläggningar minskar avsevärt mängden tungmetaller och andra föroreningar, till exempel organiska oljor, som belastar dagvattensystemet. Framförallt på parkeringsplatser ansamlas petroleumprodukter; forskning i Storbritannien har visat att ytvatten från asfalterade parkeringsplatser innehöll 30-70 mg oljor per liter vatten. En jämförande studie visade att man kunde reducera mängden oljor som belastade dagvattensystemet med upp till 97 procent på parkeringsplatser belagda med permeabla markstensbeläggningar. Oljorna fångas upp i övre delen av överbyggnaden och utsätts för intensiv biologisk nedbrytning av naturligt förekommande bakterier och svampar. Man kan avsevärt öka graden av biologisk nedbrytning genom att applicera geotextil direkt under sättsandslagret. Geotextilen är dränerande och släpper igenom vatten, medan oljor fastnar. Geotextilen blir snabbt ett dukat bord för naturligt förekommande bakterier och svampar som omvandlar oljorna till bland annat glukos för tillväxt och reproduktion. Med tiden bildas ett stort nätverk av växande bakterier och svampar till en biofilm som ytterligare ökar systemets reningsegenskaper.

Forskningsresultat från Nederländerna visar att cirka 45 procent av mängden tillförd olja hade brutits ned av biofilmen efter sex månader. Ett användningsområde som speciellt för svenska förhållanden borde vara intressant är möjligheterna för biodegradering på snöupplag.

En annan miljöaspekt som ingett stort intresse internationellt är markstensbeläggningar som bryter ned luftföroreningar. En stor fördel med metoden är att luftföroreningarna reduceras nära källan, i det här fallet fordonstrafiken. Tekniken har sitt ursprung i Japan och bygger på så kallad fotokatalytisk oxidation. Det är en applikation inom nanotekniken som bygger på att UV-strålning från solen aktiverar titandioxid, som

blandats in i betongen eller applicerats på markstenens yta. Syre och vattenånga i luften omvandlas till fria radikaler som förenar sig med luftföroreningar, framförallt kväveoxid. Det resulterar i små mängder syror som neutraliseras och sköljs bort av regnvatten. Denna typ av beläggning har testats med mycket bra resultat i bl.a. Nederländerna, Italien och Frankrike. Den grundläggande nanotekniken har redan forskats fram, bl.a. med stora svenska insatser, och är redo att implementeras i demonstrationsprojekt.

Internationellt har forskning och utveckling kring dränerande markstensbeläggningar intensifierats de senaste åren. Utvecklingen har initierats inte enbart av den stora potentialen för förbättring av lokalmiljön, men även att många länder praktiserar skattereduktion beroende på hur mycket nyexploaterade områden belastar befintligt dagvattensystem.

Till trots för en mängd goda miljöegenskaper och förmåga till att bära mycket tung trafik har permeabla markstensbeläggningar endast fått begränsad utbredning i Sverige. Flera anledningar ligger bakom den begränsade användningen i Sverige. Framförallt saknas svenska anvisningar för utförande och dimensionering av överbyggnaden. Jämfört med en traditionell asfaltbeläggning infiltrerar en permeabel markstensbeläggning avsevärt mycket mera regnvatten och överbyggnaden behöver därför dimensioneras med hänsyn till detta. Detta ställer särskilda krav på sammansättning av öppna och dränerande ballastmaterial för obundna överbyggnadslager med bibehållen bärighet.

Det svenska klimatet ställer också särskilda krav på åtgärder mot tjälning och tjällossning. Än så länge har fältförsök utförda i utlandet utförts med traditionella ballastmaterial. Ur föroreningsperspektiv har dessa gett bra resultat. Däremot har i detta sammanhang inga mineralbaserade filtermaterial provats.

I takt med ökande effekter av global uppvärmning såsom längre torr- och regnperioder, mera intensiv nederbörd och lokala översvämningar samt fortsatt ökande exploatering och urbanisering torde dock permeabla markstensbeläggningar vara ett mycket intressant och miljöriktigt alternativ även för den svenska marknaden.

URSPRUNGLIG PROJEKTINRIKTNING

Projektets ursprungliga syfte var att:

- utreda kommunernas behov och möjlighet till lokal förbättring av miljön. Utredningen avser lokal omhändertagande av dagvatten, reduktion av föroreningar till dagvattensystemet, biodegradering, NO_x reduktion samt möjlighet till förbättrat lokalklimat. Utgångspunkten är användandet av dränerande markstensbeläggningar som alternativ till traditionella beläggningstyper.
- inventera och utnyttja internationell kunskap och erfarenhet för framtagandet av svenska anvisningar för dimensionering och utförande av öppna överbyggnader för dränerande markstensbeläggningar. Anvisningarna skall även beskriva miljöpotentialen.
- vidareutveckla ballastmaterial för öppna överbyggnadslager samt hur dessa skall kombineras för optimal dräneringsförmåga men med bibehållna krav bärighet och tjälfarlighet. För ökad miljöeffekt bör fokus även läggas på möjligheter kring användandet av mineralbaserade filtermaterial.
- tillsammans med svenska kommuner och tillverkare av markstensbeläggningar etablera demonstrationsprojekt där konstruktionslösning och samt miljöförbättrande aspekter undersöks.
- Etablera en sammanhållen kunskaps- och informationsbas för segmentets framtid utveckling.

Givet projektets ursprungliga syfte utarbetades följande aktivitetsplan (här i punktform):

A Behovsutredning

- Problembild och konsekvensbeskrivning.
- Fokus på lokal miljöproblematik.
- Förutsättningar för pilotprojekt utreds.

B Erfarenhetsstatus, nationellt och internationellt

- Svenska projekt, konstruktion och användningsområde.
- Relevanta parametrar för trafik, klimat, material och effektsamband.

C Litteraturstudier

- Inventering internationell litteratur.
- Dimensionering, bärighet
- Biodegradering, tungmetaller

D Utveckling av nya ballastmaterial

- Kombination av materialfraktioner.
- Bärighets- och tjälfarlighetsegenskaper.
- Terrassmaterial

E Teoretiska beräkningar

- Parameterstudier
- Val av metod och dimensioneringsgång
- Miljöeffekter

F Etablering av demonstrationsprojekt

- Kommunalt samarbete
- Konstruktionslösning
- Miljöeffekter
- Uppföljning

G Anvisningar

Formulering av dimensioneringsmetodik

Beskrivning miljöpotential

Handbok konstruktion och utförande

SLUTLIG PROJEKTINRIKTNING

Tidigt i projektet uppstod kraftiga förseningar. I finanskrisens spår och rådande konjunkturen meddelade två av projektets konsortiedeltagare att man avsåg att genomföra en översyn av deras engagemang i samtliga externa utvecklingsprojekt. Under tiden kom därför deras ambitionsnivå att minskas vilket även påverkade projektets framdrift. Efter mera än ett års förhandlingar meddelade slutligen en av projektets konsortiedeltagare att man beslutat lämna projektet vilket i sin tur avsevärt påverkade projektets externa finansiering och tidplan. I detta läge bedömde projektgruppen att projektresultat enligt liggande projektplan och inom MinBaS-programmets tidsram inte kunde garanteras. Framför allt påverkades möjligheten att slutföra analyser och uppföljning av delprojekt F. Demonstrationsprojekt. Projektgruppen föreslog därför att delprojekt F. Demonstrationsprojekt delades upp i två underprojekt där inledande laboratorieanalyser låg kvar inom MinBaS-programmets tidsram. Däremot flyttades fältförsöket ur liggande projektplan och gavs status som fristående uppföljningsprojekt utanför ramen för MinBaS-programmet. Enligt plan skulle uppföljningsprojektet i sin helhet finansieras av branschen. Efter en tids arbetsro meddelade dock ytterligare en av projektets konsortiedeltagare att man avsåg att lämna projektsamarbete och ytterligare en revidering av projektets ambitionsnivå tvingades fram. I detta läge kvarstod i praktiken Cementa och MinBaS som enda projektfinansiärer. Som resultat av detta lyftes flera av delarna av aktivitetsplanen ur den ursprungliga projektplanen.

Slutlig projektplan reviderades enligt följande; Delaktivitet *D Utveckling av nya ballastmaterial*, *E Teoretiska beräkningar*, *F Etablering av demonstrationsprojekt* samt *G Anvisningar* lyfts ur projektplanen och fokus läggs på; *A Behovsutredning*, *B Erfarenhetsstatus, nationellt och internationellt* samt *C Litteraturstudier*.

Rapporten presenterar resultaten från delmoment A, B och C.

SAMMANFATTNING

Marknadsanalys – kommunala exploatörer, Appendix A

Analysen visar att erfarenheten och kunskapen kring genomsläppliga beläggningar av betongmarksten är mycket begränsad hos kommunerna. Många associerar till gräsarmering när de får konceptet beskrivet för sig. Behovet av information och anvisningar anses som mycket stort. De flesta kommuner visade intresse för att använda genomsläpplig betongmarksten för utjämning av dagvattenflöden. Kraven på utjämning och lokalt omhändertagande av dagvatten ökar, särskilt vid nyexploateringar. De flesta kommuner visade även ett visst intresse för att använda genomsläpplig betongmarksten för reduktion av olja och tungmetaller. Här var dock intresset hos landsortskommunerna svalare.

Många kommuner påpekade att större parkeringsplatser och uppställningsytor i huvudsak anläggs på tomtmark. Det är därför sällan kommunen själv som anlägger ytorna utan istället exploatörer, parkeringsbolag och kollektivtrafikbolag. För kommunens del är det främst torg samt en del större parkeringar i anslutning till idrottsanläggningar och skolor som kan bli aktuella. Denna insikt har aktualiserat en utvidgning av marknadsanalysen till att även omfatta parkeringsbolag, logistikföretag samt förvaltare av handels- och serviceplatser (tex IKEA och flygplatser).

Flera av kommunerna påpekade att en förbättrad reningseffekt måste styrkas, helst med resultat från svenska förhållanden eller åtminstone från länder som har ett klimat som liknar vårt, innan konceptet med dränerande markstensbeläggningar kan bli ett konkurrerande alternativ till traditionellt hårdgjorda ytor.

Marknadsanalys – kommunala exploatörer, Appendix B

Rundringning till större företag och exploatörer har visat att endast få aktörer har kunskap inom området. När man får möjligheterna förklarad för sig visar endast få aktörer något större intresse utifrån att man känner sig låsta av ”kritiska” faktorer såsom ytans jämnhet och bärighet. Funderingar på att sektionera ytan i tex parkering, gångstråk, plantering och övrigt där ”övrigt” skulle kunna utgöras av dränerande markstensbeläggningar görs inte. Många av exploatörerna överlämnar samtliga funderingar förutom ”att kunna slussa så många personer som möjligt in i köpcentret” till externt anlitate projektörer.

Även privata exploatörer hänvisar till vikten av relevanta forskningsresultat från svenska förhållanden innan konceptet med dränerande markstensbeläggningar kan bli ett konkurrerande alternativ till traditionellt hårdgjorda ytor.

Kunskapsammanfattning, Appendix C

Internationellt, men även i viss mån i Sverige, ökar intresset för ekologiskt hållbara dräneringssystem. En av orsakerna är en kraftig ökning av andelen hårdgjorda ytor i urban miljö som minskar grundvattenbildning i städerna och förändrar livsbetingelserna för

växter och djur. Vid häftiga regn rinner även stora mängder vatten, som kan innehålla föroreningar och partiklar från biltrafiken, utan rening rakt ut i vattendrag, sjöar och hav. Rapporten, presenterad i appendix C, ingår som en del i ett större projekt som syftar till att utveckla dränerande marksten som ett alternativ för att lösa ovan beskrivna problem.

Litteratur på området redovisas och sammanställs för att bilda bas för fortsatt arbete med att praktiskt anlägga dränerande markstensytor i Sverige.

Normalt sett anses täta beläggningar som dränerar bort vatten från över- och underbyggnad vara att föredra av vägtekniska skäl. Rapporten emotsäger inte detta men nanserar bilden av risker ifråga om mindre trafikerade ytor så att dränerande ytor framstår som ett pålitligt alternativ. Vidare ges råd om vad som bör beaktas vid projektering och byggande rörande bärighet, förmåga att magasinera och fördröja vatten, undergrundens beskaffenhet, samt aspekter på hur miljön kan förbättras. Till sist ges råd om drift och underhåll.

Miljöaspekter ges stort utrymme i rapporten, eftersom dessa hänsyn är, förutom lokal handtering av dagvatten, ett viktigt syftet med dränerande beläggningar. Det konstateras att nyttan med dränerande beläggningar gäller minskad belastning på dagvattensystem, förbättrad grundvattenbildning, förbättrade livsbetingelser för växter, samt rening eller kvarhållande av föroreningar. Kvarhållande av föroreningar helt eller under viss tid är önskvärt för att minska påverkan på framförallt vattendrag men även närliggande mark. Även fördröjning och utspädning av utsläpp är önskvärt, särskilt om alternativet kan vara häftig ytavrinning i samband med snösmältning eller kraftig nederbörd, som spolar med sig ansamlade föroreningar. Rening av organiska föroreningar såsom oljespill rapporteras effektivt om de rätta betingelserna för biodegradering kan åstadkommas i överbyggnaden.

VIDARE ARBETEN

Resultaten från projektet har visat att många kommuner och även privata exploatörer är intresserade av miljöpotentialen med dränerande markstensbeläggningar. I de flesta fall förutsätts dock förekomst av relevanta data från pilot- eller forskningsprojekt under svenska förhållanden innan konceptet kan konkurrera med alternativa hårdgjorda ytor i någon större utsträckning. Flera kommuner har dock sagt sig intresserade att medverka i pilotprojekt för en ökad kunskap inom konceptet dränerande markstensbeläggningar. Vidare arbeten bör bl.a. fokusera på följande:

Nya ballastmaterial och överbyggnadstyper

Behovet av nya typer av ballastmaterial bör utredas. Eftersom vatten skall kunna infiltreras genom överbyggnaden samtidigt som den är utsatt för trafikbelastning, kan inte traditionell vägbyggnadsteknik och ballastsammansättning användas. Särskild fokus bör läggas på hur olika fraktioner kan kombineras utan att bärighets- och tjälfarlighetsegenskaper påverkas.

Teoretiska beräkningar

Jämförande tekniska beräkningar och parameterstudier bör utföras av olika konstruktionstyper dock med åtanke på att traditionella nedbrytningssamband inte nödvändigtvis är giltiga för denna typ av konstruktion. Definition och utarbetning av metod, förutsättningar och dimensioneringsgång.

Miljöpotential

Studien har visat på avsevärda miljöeffekter vid användandet av dränerande markstensbeläggningar. Innan etablering av ett eventuellt fullskala pilotprojekt bör miljöeffekter som bedöms som särskilt viktiga för svenska förhållanden studeras i detalj. Lakningspotential och utspädning studeras särskilt.

Demonstrationsprojekt

Ur marknadsanalysen kan slutsatsen dras att etablering av relevant pilotprojekt är avgörande för den vidare utvecklingen av segmentet dränerande markstensbeläggningar. Demonstrationsprojektet bör utvärdera vald konstruktionslösning med hänsyn till tekniska (bärighet, beständighet) och miljöförbättrande faktorer (t.ex. LOD, NO_x-rening, biodegradering, deponering av tungmetaller). Demonstrationsprojektet bör etableras gemensamt med kommunal aktör.

Dimensioneringsanvisningar

För närvarande finns ingen dimensioneringsmetodik eller utförandeanvisningar för svenska förhållanden etablerad. Dock har ett flertal europeiska länder, med snarlika klimatologiska förhållanden som Sverige, etablerad avancerade beräkningsmetoder och föreskrifter för konceptet dränerande markstensbeläggningar. En jämförande analys av de olika dimensioneringsmetoderna bör genomföras ur klimatologisk-, bärighets-, och beständighetsperspektiv. En för Sverige lämplig metod bör väljas för vidare studier och anpassning till svenska förhållanden.

REFERENSER

Bruce Ferguson (2006). Porous Pavements: The Making of Progress in Technology and Design , *University of Georgia, United States of America*.

Kelly A. Collins, William F. Hunt and Jon M Hathaway (2006). Evaluation of Various Types of Permeable Pavements with Respect to Water Quality Improvement and Flood Control, *North Carolina State University, United States of America*.

Daniel Castro, J. R. Bayón, Jorge Rodríguez and Nelson González-Angullo (2006). Design Process of a New Concrete Block for Permeable Pavements - Laboratory Test Studies, *Universidad de Cantabria, Spain*.

Soenke Borgwardt (2006). Long-term In-situ Infiltration Performance of Permeable Concrete Block Pavement, *Buero BWB Norderstedt, Germany*.

Timothy Van Seters, Derek Smith and Glenn MacMillan (2006) Performance Evaluation of Permeable Pavement and a Bioretention Swale, *Toronto and Region*.

Conservation Authority, Canada (2006). Pollution Retention and Biodegradation within Permeable pavements.

Alan P. Newman, Stephen J. Coupe, Humphrey G. Smith, Tim Puehmeier and Paul C. (2006) The Microbiology of Permeable pavements. *Bond, Coventry University, United Kingdom*.

Stephen J. Coupe and Alan P. Newman, Kate Robinson (2006). The Analysis of Permeable Pavement Microbial Biofilms by Electron Microscopy, *Formpave Ltd., United Kingdom*.

Stephen J. Coupe, Humphrey G. Smith, Tim R. Lowe (2006). A Comparison of the Effect of Clean and Waste Mineral Oils on Permeable Pavements, *Coventry University and Kate Robinson, Formpave Ltd., United Kingdom*.

Alan P. Newman, Stephen J. Coupe, Gillian E. Spicer, Daniel Lynch (2006). Maintenance of Oil-degrading Permeable Pavements: Microbes, Nutrients and Longterm Water Quality Provision, *Coventry University*.

Appendix A

Marknadsanalys – Dränerande markstensbeläggningar

Del I – Kommunala exploatörer

Joakim Pramsten, SWECO

Jarl Erikzén, SWECO

Ingela Holm, SWECO

Syfte

Huvudsyftet har varit att genomföra en marknadsanalys hos utvalda kommuner beträffande intresse för användning av dränerande markstensbeläggningar.

Frågan som skall besvaras är om behov, intresse, kunskap eller erfarenheter finns hos kommunerna beträffande dränerande markstensbeläggningar, samt vem som fattar beslut i frågan om val av beläggning.

Följande potentiella "nyttoområden" skall särskilt beaktas i marknadsanalysen: Flödesutjämning och eventuell möjlighet till infiltration av dagvatten för reduktion av dagvattenflöden i efterföljande dagvattenledningssystem.

Nedbrytning av organiskt material (biodegradering) i dagvatten, t.ex. med hjälp av en speciellt utformad geotextil som placeras i överbyggnaden.

Ackumulation av tungmetaller från dagvatten i ett mineraliskt filtermaterial som appliceras som sättsand under stenen.

Reduktion av kväveoxider som tillförs luften via trafiken. Reduktionen sker via fotokatalytisk oxidation med titandioxid som kan blandas in i markstensens ytskikt.

Utöver ovanstående egenskaper har det förutsatts att de undersökta produkterna är likvärdiga med vanlig betongmarksten.

Metodik

Undersökningen genomförs i intervjuform via telefonsamtal.

En lista med 20 utvalda kommuner togs fram. Syftet var att kontakta och ställa frågor till gatuförvaltningen eller motsvarande enhet i dessa kommuner. Av de utvalda kommunerna har kontakt erhållits hos 15 kommuner. Samtliga av dessa kontakter var villiga att svara på frågor.

Frågorna var öppna men svaren grupperades i kategorier för att möjliggöra numeriska sammanställningar. I ett kommentarfält har övriga kommentarer kunnat fyllas i för att förtydliga eller komplettera kategorisvaren.

Resultat

Många kommuner påpekade att större parkeringsplatser och uppställningsytor i huvudsak anläggs på tomtmark. Det är därför sällan kommunen själv som anlägger ytorna utan istället exploatörer, parkeringsbolag och kollektivtrafikbolag. För kommunens del är det främst torg samt en del större parkeringar i anslutning till idrottsanläggningar och skolor som kan bli aktuella.

Ursprungligen var förhoppningen att vi skulle kunna få in uppgifter om hur mycket permeabel marksten man använde i kommunerna samt hur stor den framtida potentialen var. Detta visade sig vara mycket svårt. I något enstaka fall fick vi en siffra på en volym men för det mesta kunde volymerna inte uppskattas. Endast Solna och Karlstad har kunnat ge oss några somhels siffror på uppskattade volymer. Dessa är mycket osäkra och redovisas i bilagan till denna PM.

Där flera svarkategorier har kunnat anges som svar på en fråga har i förekommande fall samtliga svar som avgivits av en kommun redovisats. Summan av svaren kan därför bli större än 15.

Huvudresultaten från undersökningen redovisas nedan varefter en mer utförlig presentation av svaren på respektive fråga redovisas. Det fullständiga svarmaterialet bifogas som en bilaga.

Sammanfattning

Det slutgiltiga valet av beläggning görs av kommunens projektledare. Valet sker ofta utifrån en intern teknisk standard eller ett gestaltungsprogram som upprättats i planskedet. Det är också vanligt att en konsult föreslår ett material eller en lösning som sedan väljs av projektledaren. Driftorganisationens synpunkter inhämtas ofta för att säkerställa driftskedet.

Asfalt är det dominerade beläggningsmaterialet men stor osäkerhet råder hos kommunerna när de ställs inför frågan i vilken omfattning olika material används. Priset är den absolut viktigaste faktorn vid val av beläggning och då ser man till totalkostnaden över beläggningens livslängd. Andra viktiga faktorer är gestaltning, främst i äldre stadskärnor och andra känsliga miljöer, samt drift och i stor utsträckning gammal vana.

Erfarenheten och kunskapen kring genomsläppliga beläggningar av betongmarksten är mycket begränsad hos kommunerna. Många associerar till gräsarmering när de får konceptet beskrivet för sig.

De flesta kommuner visade intresse för att använda genomsläpplig betongmarksten för utjämning av dagvattenflöden. Kraven på utjämning och lokalt omhändertagande av dagvatten ökar, särskilt vid nyexploateringar.

De flesta kommuner visade även ett visst intresse för att använda genomsläpplig betongmarksten för reduktion av olja och tungmetaller. Här var dock intresset hos landsortskommunerna svalare.

De flesta kommuner ansåg att höga halter kväveoxider var ett storstadsproblem som de inte berördes av. Några kommuner var dock intresserade.

Flera av de intervjuade hänvisade till miljöförvaltningen i fråga om behov av dagvattenrening och/eller reduktion av kväveoxider i luften.

Många efterfrågade tydliga forskningsresultat som kan verifiera den påstådda effekten.

Fem av de tillfrågade kommunerna uppgav att de var mycket intresserade av att medverka i ett pilotprojekt med genomsläpplig betongmarksten.

Förslag till fortsatt arbete

För att erhålla mer kunskap om vilka beläggningsmaterial som väljs för större parkeringsytor och uppställningsplatser kan exploatörer med anläggningar på tomtmark kontaktas:

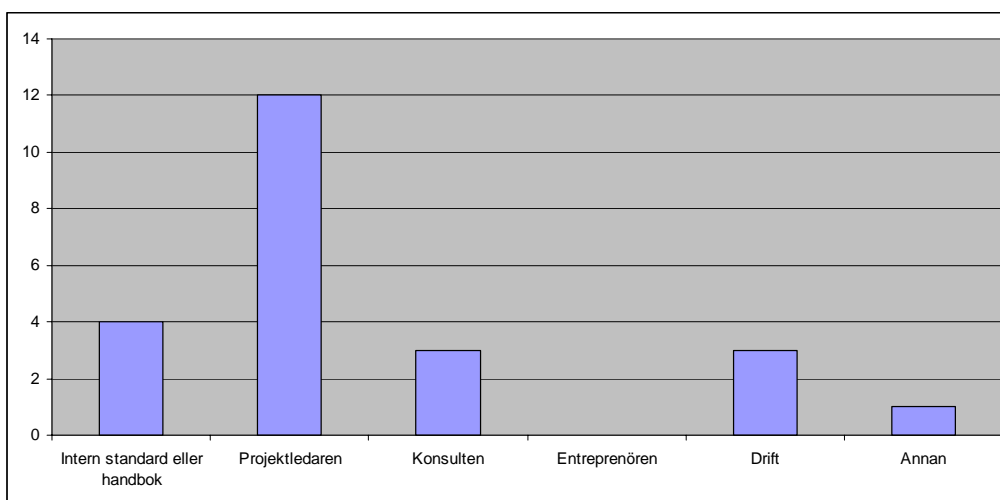
- Exploatörer/Förvaltare av handelsplatser (t.ex. Ikea och Coop)
- Exploatörer/Förvaltare av servicefunktioner (t.ex. sjukhus och flygplatser)
- Kollektivtrafikbolag (t.ex. bussterminaler och infartsparkeringar)
- Parkeringsbolag
- Logistikföretag

För att få mer kunskap om vilka krav som kan komma att ställas på utjämning av dagvatten och vilka tekniker för utjämning man förespråkar kan va-förvaltningarna hos de utfrågade kommunerna kontaktas.

För att få mer kunskap om vilka miljökrav som kan komma att ställas på rening av dagvatten och eventuell reduktion av kvävedioxid i luft kan miljöförvaltningarna hos de utfrågade kommunerna kontaktas.

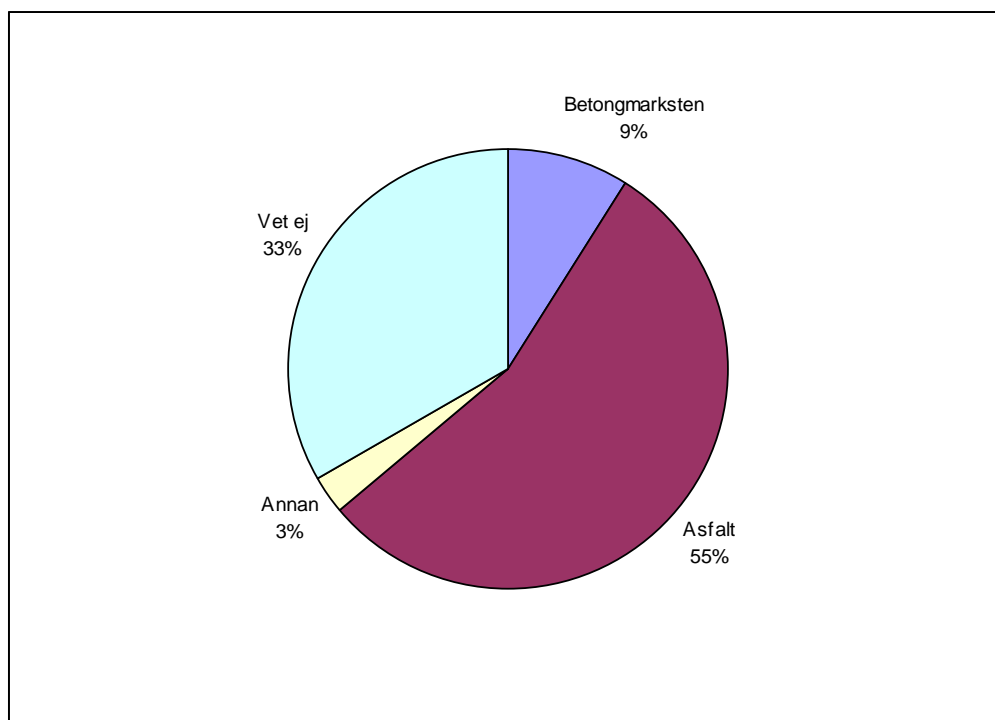
För att få en samlad bild av vilka miljökrav som kan komma att ställas i detaljplaner i samband med nyexploateringar kan plankontoren hos de utfrågade kommunerna kontaktas.

Vem fattar beslut om materialval för beläggningar på större parkeringsytor och uppställningsplatser etc?



Kommunens projektledaren fattar beslutet, oftast med stöd av en intern teknisk handbok/standard eller ett gestaltningsprogram, alternativt efter förslag från en konsult. I många fall samråder man även med driftorganisationen.

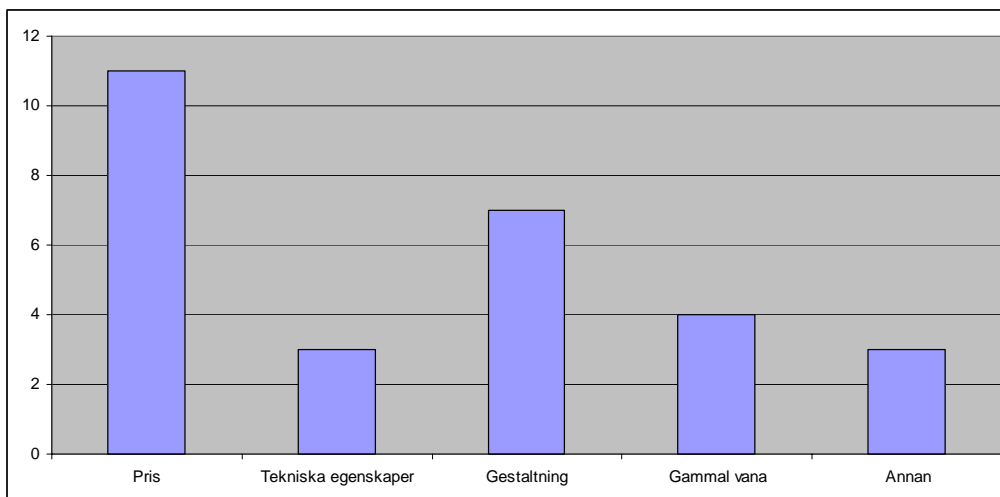
Vilka beläggningar väljs för denna typ av ytor?



Det är oklart om svaren vi har fått avser hårdgjorda ytor i allmänhet (inklusive gator och GC-banor) eller om det endast avser större parkeringsytor och uppställningsplatser. Troligen är det en blandning av svar och resultatet blir därmed svårtolkat och av tvivelaktigt värde.

Värt att notera var att många inte kunde svara på vilka typer beläggningar som faktiskt väljs för olika typer av hårdgjorda ytor.

Vad påverkar valet av beläggning?



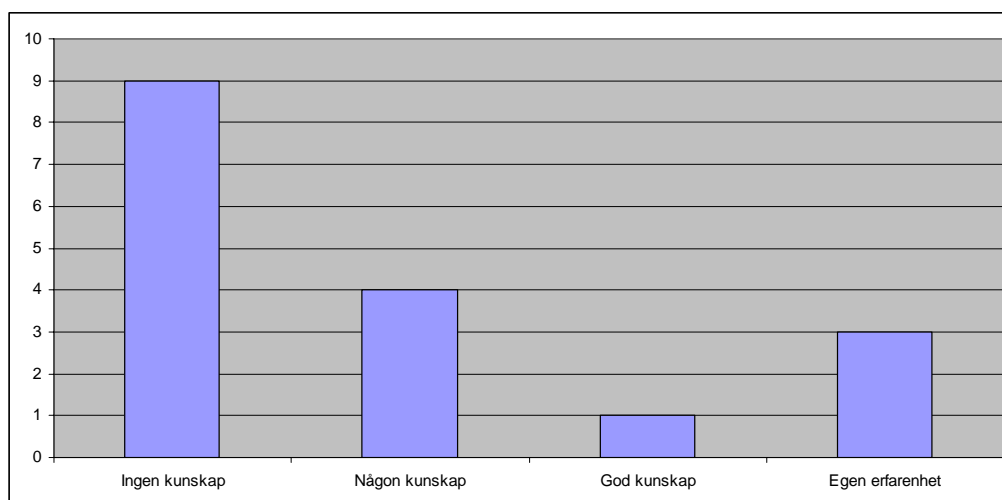
Priset är den absolut viktigaste faktorn och då ser man till totalkostnaden över beläggningens livslängd.

I äldre stadskärnor och andra känsliga miljöer är gestaltningen viktig medan kraven minskar längre ut. Detaljplaner och gestaltungsprogram kan därmed ha stor inverkan på valet av beläggning.

Tekniska egenskaper som bärighet, trafiksäkerhet och tillgänglighet var andra faktorer som nämndes.

I många fall väljs asfalt av gammal vana.

Vilka erfarenheter eller kunskaper har ni om genomsläppliga beläggningar av betongmarksten?



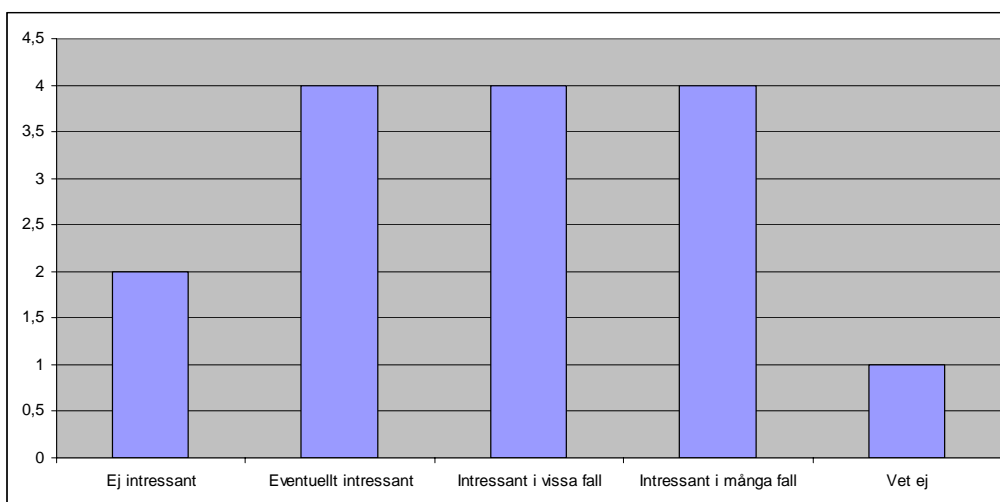
Erfarenheten och kunskapen är mycket begränsad. Endast tre kommuner av 15 uppgav att de hade egen erfarenhet av genomsläpplig betongmarksten (Solna, Järfälla och Växjö).

Solna uppger att de anlagt 2500 m² parkeringsyta med genomsläpplig marksten längs Råsundavägen.

Gräsarmering har dock flera kommuner kunskap om och de verkar spontant associerar begreppet genomsläpplig betongmarksten med gräsarmering.

De kommuner som sade sig ha egen erfarenhet av genomsläpplig betongmarksten hade ingen egentlig uppfattning om hur den fungerade eller vilka volymer det rörde sig om. Ingen uppföljning hade gjorts av ytorna.

Med en genomsläpplig beläggning av betongmarksten kan dagvattenflöden utjämnas i beläggningens överbyggnad. - Är denna funktion av intresse för er?



De flesta kommuner visade intresse för att använda genomsläpplig betongmarksten för utjämnning av dagvattenflöden. Endast två kommuner av 15 sade sig vara ointresserade. Storstadskommuner visade något större intresse än kommuner på mindre orter.

Solna uppger att de planerar att anlägga 1000-2000 m² torgyta någon gång under de kommande 15 åren där genomsläpplig betongmarksten skulle kunna vara aktuellt.

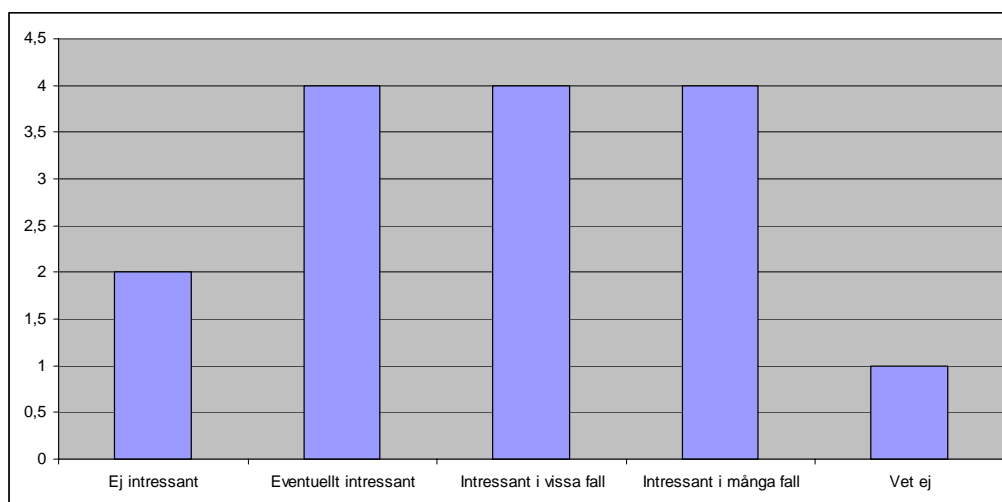
Karlstad uppger att de planerar att anlägga c:a 5000 m² uppställningsytor och parkeringsplatser under en period på "ett flertal år". På dessa ytor skulle genomsläpplig betongmarksten kunna vara aktuellt.

Vid nyexploateringar nämnde flera kommuner att utjämnning och lokalt omhändertagande av dagvatten ofta var intressant.

Ytor som spontant nämndes som intressanta var: cirkulationsplatser, torgytor med viss trafik, infartsparkeringar, uppställningsplatser samt nyexploateringar.

Oro för igensättning av fogarna uttrycktes liksom oro för att okontrollerad infiltration av dagvatten som kan vara förorenat.

Med en genomsläpplig beläggning av betongmarksten kan dagvattnets innehåll av olja reduceras.- Är denna funktion av intresse för er?



De flesta kommuner visade ett visst intresse för att använda genomsläpplig betongmarksten för reduktion av olja. Här var dock intresset hos landsortskommunerna svalare jämfört med intresset för utjämning av dagvattenflöden.

Även om det totala utfallet på denna fråga liknar utfallet för föregående fråga har de enskilda kommunerna svarat olika på de båda frågorna.

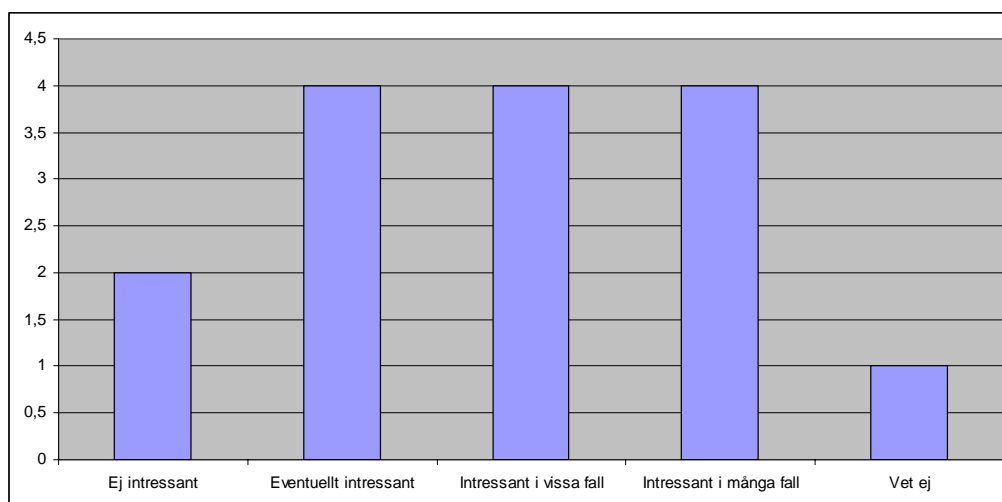
Ytor som spontant nämndes som intressanta var: bussterminaler, parkeringsytor, hamnar och andra typer av terminaler med tung trafik.

Tydliga forskningsresultat efterfrågades liksom uppgifter om kostnader och livslängd.

Oro för hantering av förorenade massor vid framtida schaktarbeten framkom.

Hänvisningar till att detta egentligen var en fråga för miljöförvaltningen förekom.

Med en genomsläpplig beläggning av betongmarksten kan dagvattnets innehåll av tungmetaller reduceras.- Är denna funktion av intresse för er?



De flesta kommuner visade ett visst intresse för att använda genomsläpplig betongmarksten för retention av tungmetaller. Liksom för reduktion av olja var dock intresset hos landsortskommunerna svalare jämfört med intresset för utjämning av dagvattenflöden.

Kommunerna har på denna fråga svarat identiskt med utfallet på föregående fråga vilket kan indikera att de som är intresserade av att reducera en förorening i dagvattnet även är intresserade av att reducera andra.

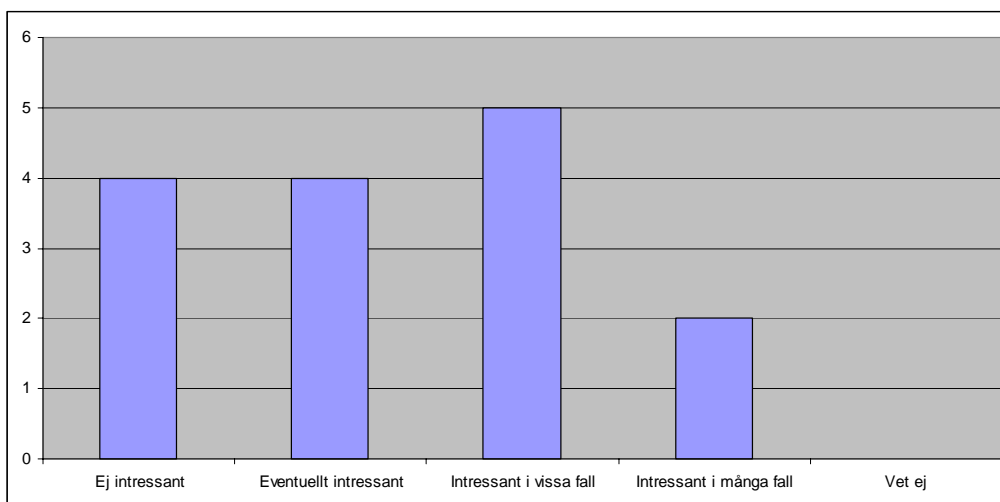
Ytor som spontant nämndes som intressanta var: bussterminaler, parkeringsytor, hamnar och andra typer av terminaler med tung trafik.

Tydliga forskningsresultat efterfrågades liksom uppgifter om kostnader och livslängd.

Oro för hantering av förorenade massor vid framtida schaktarbeten framkom.

Hänvisningar till att detta egentligen var en fråga för miljöförvaltningen förekom.

**Genom en tillsatts av titandioxid i betongstenens yta kan beläggningen bidra till att minska halterna av hälsofarliga kväveoxider som tillförs luften från fordonstrafik.
- Är denna funktion av intresse för er?**



Intresset var lägre för denna miljöapplikation jämfört med intresset för reduktion av olja och tungmetaller. De flesta menade att höga halter kväveoxider var ett storstadsproblem som de inte berördes av.

Stockholm menade att höga partikelhalter i luften var ett större problem än kväveoxider och att det var där fokus låg för tillfället.

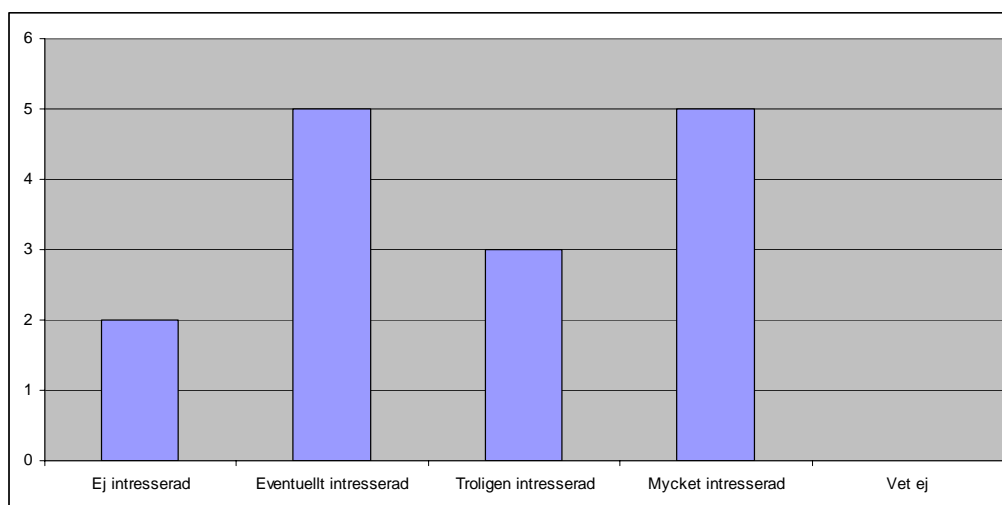
Täby uttryckte intresse för att använda titandioxid i gjutbetong om det var möjligt (t.ex. i broytor och på P-däck).

Tydliga forskningsresultat efterfrågades samt kostnadsjämförelser med andra typer av åtgärder.

Ytor som spontant nämndes som intressanta var: parkeringsytor, körytor och bensinmackar.

Hänvisningar till att detta egentligen var en fråga för miljöförvaltningen förekom.

Skulle ni vara intresserade av att medverka i ett pilotprojekt relaterat till någon av de ovan beskrivna egenskaperna hos beläggningar av betongmarksten?



Fem kommuner uppgav att de är mycket intresserade av att medverka i ett pilotprojekt (Täby, Järfälla, Linköping, Sundsvall och Växjö).

Åtta kommuner är eventuellt/troligen intresserade av att medverka i ett pilotprojekt.

Endast två kommuner svarade att de ej var intresserade. En av dessa (Håbo) säger sig vara ointresserad främst på grund av att den saknar lämpliga objekt i kommunen.

Appendix B

Marknadsanalys – Dränerande markstensbeläggningar

Del II – Privata exploatörer

Eva-Lotta Thunqvist, SWECO

Ingela Holm, SWECO

Anna Bergenstrand, SWECO

Sammanfattning

Sweco har genomfört en marknadsanalys hos exploatörer beträffande dränerande markstensbeläggning. Undersökningen genomfördes med telefonintervjuer och öppna frågor.

För stora parkeringsytor/upplag är förutom priset kraven på jämnhet och hållfasthet styrande. För stora parkeringsytor vid handelsplatser är det viktigt att ytan är jämn för hanteringen av kundvagnar. Snöröjning och halkbekämpning måste också fungera. För tunga transporter och stora upplag är det hållfastheten viktig. Ojämnheter får inte uppstå på grund av belastningen. Därför används huvudsakligen asfalt som beläggning.

De tillfrågade företagen har ingen eller bara begränsad erfarenhet av genomsläppliga beläggningar av betongmarksten, men majoriteten av företagen är intresserade av en funktion som innebär en utjämning av flöden. Om en genomsläpplig beläggning av betongmarksten kan reducera dagvattnets innehåll av olja och tungmetaller tycker flera företag att detta är av intresse så länge kraven från myndigheter kan uppfyllas. Dock bör körytor asfalteras. P-ytor vid varuhus och mindre ytor som inte behöver snöröjas i någon större utsträckning kan däremot vara lämpliga för betongmarksten.

En förbättrad reningseffekt bör kunna styrkas, helst med resultat från svenska förhållanden eller åtminstone från länder som har ett klimat som liknar vårt. Beslut om att delta i ett sådant pilotprojekt fattas på ledningsnivå i företagen.

Syfte

Sweco har fått i uppdrag att göra en marknadsanalys hos utvalda exploatörer beträffande intresse för användning av dränerande markstensbeläggningar. Uppdraget är en fortsättning på en tidigare marknadsanalys angående kommunernas användning av marksten.

Frågorna som skall besvaras är om behov, intresse, kunskap eller erfarenheter finns hos respektive exploatör beträffande dränerande markstensbeläggningar, samt vem som fattar beslut i frågan om val av beläggning.

Marknadsanalysen har bland annat beaktat exploatörernas intresse för följande frågeställningar:

- Möjlighet till flödesutjämning och infiltration av dagvatten för reduktion av dagvattenflöden i efterföljande dagvattenledningssystem.
- Möjlighet till reduktion av olja och tungmetaller med hjälp av ett mineralfilter under en dränerande beläggning av marksten.
- Möjlighet till reduktion av kväveoxider som tillförs luften via trafiken. Reduktionen sker via fotokatalytisk oxidation med titandioxid som kan blandas in i markstenens ytskikt.

Metodik

Telefonintervjuer genomfördes med ett antal exploatörer. Kriterier vid urvalet av företag var att det skulle ha en verksamhet som fordrade stora upplags- eller parkeringsytor. En lista med 12 exploatörer hade tidigare sammanställts i samråd med Erik Simonsen hos Cementa. Syftet med uppdraget var att kontakta och intervjua den på företaget som var ansvarig för exploateringen av parkeringsytor. Några av företagen på den ursprungliga listan visade sig inte äga större parkeringsytor och ersattes därför av andra företag. COOP ersattes av KF fastigheter och ICA av ICA Fastigheter.

De exploatörer som kontaktades var:

- DHL
- Skanska
- Swedwood
- KF Fastigheter
- SL
- Växjö Parkering
- Vasakronan
- Posten
- DSV
- Malmö Parkering
- ICA fastigheter AB
- IKEA
- Stockholm Parkering

Fullständiga intervjuer genomfördes med åtta av företagen: DHL, Skanska, Swedwood, KF Fastigheter, SL, Vasakronan, ICA Fastigheter och Stockholm Parkering.

Fullständiga svar saknas från fyra företag: Växjö Parkering, Posten, DSV och Malmö Parkering. Det första av dessa visade sig vara ägt av Växjö kommun (som deltog i den tidigare marknadsanalysen av kommuner) och de tre senare äger inte själva sina fastigheter och kan därför inte besluta om val av beläggning.

Frågorna var öppna och nedan redovisas svaren mer utförligt under respektive fråga.

Resultat

Vem fattar beslut om materialval för beläggningar på större parkeringsytor och uppställningsplatser etc?

Det vanligaste är att beställaren eller projektledaren bestämmer vilken beläggning som ska användas. Fyra företag (Skanska, Swedwood, KF Fastigheter och Vasakronan) uppger att beställaren/projektledaren fattar beslut om materialval. Swedwood och ICA Fastigheter uppger att det finns interna standarder eller handböcker, Skanska och SL uppger att konsulter/projektörer bestämmer.

DHL uppger att det inte är möjligt att välja annat material än asfalt på grund av den tunga trafiken. SL uppger att förvaltaren av anläggningen ställer kraven.

Vasakronan uppger att avdelningen för Teknisk Förvaltning beslutar om beläggningsmaterial då parkeringsplatser byggs om.

Vad påverkar valet av beläggning?

Priset och de tekniska egenskaperna är de viktigaste faktorerna för valet av beläggning.

För majoriteten av företagen sker en sammanvägning av flera faktorer vid valet av beläggning. Samtliga svarsalternativ: tekniska egenskaper, gestaltning, tradition, tillgänglighet samt pris uppges av flera företag påverka valet. Swedwood och SL uppger att kravet på hållfasthet spelar stor roll. Vasakronan uppger att driftförhållandena påverkar.

Vad/vem styr valet av beläggning?

Krav i detaljplanen eller från kommunens stadsbyggnadskontor styr valet av beläggning. Lokalt omhändertagande av dagvatten, LOD, förekommer ofta som krav från kommunen. Vasakronan anger också byggherrekraV eller egna miljökrav som styrande för valet av beläggning. SL anger att egen policy finns.

Vilka erfarenheter eller kunskaper har ni om genomsläppliga beläggningar av betongmarksten?

De tillfrågade företagen har ingen eller bara begränsad erfarenhet av genomsläppliga beläggningar av betongmarksten. Ingen av intervjupersonerna har egen erfarenhet men Skanska, SL och Vasakronan uppger att det kan finnas erfarenhet inom företaget.

Swedwood uppger att i Sverige används endast asfalt, men i Polen och Slovakien är betong vanligt och rekommenderas även i Tyskland och England.

Under det senaste året vilken typ av beläggning har valts för större parkeringsytor, uppställningsytor, kundparkeringar etc?

Asfalt har använts som beläggning för 90-100% av ytorna. ICA Fastigheter och Stockholm Parkering uppger att de använder 5% och Skanska 10% betongmarksten.

I Polen använder däremot Swedwood betongytor till ca 70%. Vid entréer uppger ICA Fastigheter att betongmarksten kan väljas av estetiska skäl.

SL använder densiasfalt som är en extra hård asfalt för parkeringsytor.

Stockholm Parkering testar dränasfalt på några mindre parkeringar för att slippa dagvattenbrunnar. Mindre parkeringsytor har ofta andra krav vad gäller utsläpp av olja.

Vasakronan prioriterar en låg investeringskostnad då parkeringsytorna endast är tillfälliga.

Vilken typ av beläggning har valts för planerade parkeringsytor, uppställningsplatser, kundparkeringar etc?

För 90 och 100% av de planerade ytorna har asfalt valts som beläggning. Skanska använder betongmarksten för ca 10% av ytorna och Stockholm Parkering för 5%. Swedwood och Vasakronan har inte kunnat ange någon uppskattning.

Swedwood kommer att lägga in möjligheten att välja genomsläpplig betong i sin konstruktionsmanual. Vasakronan anger att valet av beläggning beror på vad ytan ska användas till. Om inget annat kan konkurrera prismässigt väljer KF Fastigheter asfalt.

Med en genomsläpplig beläggning av betongmarksten kan dagvattenflöden utjämnas. Är denna funktion av intresse för er?

Utjämnning av flöden är eventuellt intressant eller mycket intressant för de flesta av företagen. Bara DHL och ICA Fastigheter saknar intresse för denna funktion.

Företagen anser generellt att körytor bör vara asfalt. Däremot kan P-ytor vid varuhus och mindre ytor som inte behöver snöröjas i någon större utsträckning vara lämpliga för betongmarksten.

SL uppger att frågan är aktuell just nu för en rangeryta för tåg 9.000 m² - 18.000 m².

Med en genomsläpplig beläggning av betongmarksten kan dagvattnets innehåll av olja reduceras.- Är denna funktion av intresse för er?

KF Fastigheter uppger att det kan vara mycket intressant om dammar/diken kan undvikas med denna lösning. De flesta uppger frågan vara av eventuellt intresse. Endast Skanska och ICA Fastigheter tycker det är ointressant på grund av de krav på jämnhet som ställs på ytor som anläggs. Kravet på släta ytor som är lätta att halkbekämpa och snöröja gör genomsläpplig marksten ointressant.

Swedwood anger att det skulle kunna vara möjligt för lågriskytor, 10.000 m²/site.

Med en genomsläpplig beläggning av betongmarksten kan dagvattnets innehåll av tungmetaller reduceras. - Är denna funktion av intresse för er?

Några företag uppger att det kan vara av visst intresse. De hänvisar dock till att kraven från Stockholms stad måste vara uppfyllda. Men om dammar/diken kan undvikas med denna lösning är det intressant.

Hälssofarliga kväveoxider tillförs luften från fordonstrafik. Genom en tillsats kan beläggningens yta bidra till att minska halten.

- Är denna funktion av intresse för er?

Skanska har medverkat i utvecklingsprojekt gällande denna produkt. De anser att priset är för högt. Dessutom finns det ännu så länge ingen bra tillverkningsmetod för titanoxid i markbetongbeläggningar då ytskiktet snabbt slits.

DHL, Skanska, KF Fastigheter, SL och Vasakronan tycker att funktionen är intressant men eftersom andelen betongmarksten är så liten är det tveksamt om det är av intresse.

Skulle ni vara intresserade av att medverka i ett pilotprojekt med kvävereducerande beläggning av betongmarksten?

Rent principiellt är alla utom ICA Fastigheter intresserade. Beslutet om att delta fattas dock ofta på en högre nivå. Enligt Stockholms Parkerings faller test av nya produkter på grund av kostnaden. Ett pilotprojekt måste ju följas upp och det blir en kostnadsfråga. Vasakronan är inte intresserad av att utveckla nya produkter och lösningar utan vill ha testade dokumenterade lösningar som också är godkända av Stockholms stad.

Diskussion

De flesta av de intervjuade exploatörerna anger att för stora parkeringsytor och upplag är förutom priset kraven på jämnhet och hållfasthet styrande. För stora parkeringsytor

vid handelsplatser är det viktigt att ytan är jämn så att kundvagnar kan hanteras på ett enkelt sätt. Snöröjning och halkbekämpning måste också fungera på parkeringsytorna.

För företag med tunga transporter och stora upplag är det viktigt med hållfasthet så att inte ojämnheter uppstår på grund av belastningen. Flera av de intervjuade exploatörerna uppger risker för att markstenen krossas då stora tunga fordon svänger.

Kommuner har krav på oljeavskiljare vid stora parkeringsytor. Därför väljer företagen istället hårdgjorda ytor där vattnet kan samlas upp och avledas till en oljeavskiljare. Om däremot parkeringsytorna skulle utformas med avseende på kommunens krav skulle genomsläppliga beläggningar i vissa fall kunna vara ett alternativ till att bygga diken och dammar. Dränerande markstensbeläggningar lämpar sig bäst att anlägga i kanten på större parkeringar, vid idrottshallar, parkeringar i anslutning till bostäder och infarts-parkeringar.

Eftersom dränerande markstensbeläggning är dyrare att anlägga än vanlig asfalt måste den ha egenskaper som gör den konkurrenskraftig trots prisskillnaden. Argument för detta kan vara en förbättrad reningseffekt vilket bör kunna styrkas, helst med resultat från svenska förhållanden eller åtminstone från länder som har ett klimat som liknar vårt. Företagen efterfrågade sådana mätningar.

Ett företag som varit med och utvecklat beläggningen med titanoxid (Skanska) påpekade att det innebär att produkten med denna beläggning blir dyrare. Eftersom metoden innebär endast en ytimpregnering kommer ytskiktet av titanoxid att snabbt nätas bort, vilket gör effekten på lång sikt tveksam.

Med resultat från provtagningar bör det vara lättare att marknadsföra dränerande markstensbeläggningar. En lämplig grupp att marknadsföra produkten till kan vara de som projekterar parkeringar. Det ingår ofta projekteringen att ange typ av beläggning och funktion.

Ursprungligen var förhoppningen att vi skulle kunna få in uppgifter om hur mycket permeabel marksten som exploatörerna använde samt hur stor den framtida potentialen var. Detta visade sig vara dock vara svårt.

Förslag till fortsatt arbete

De intervjuade exploatörerna efterfrågar mätningar av den dränerande markstensbeläggningens reningseffekt. Det är därför lämpligt att genomföra mätningar i fält. En parkeringsyta med genomsläpplig markstensbeläggning kan designas med en tät yta under där vatten samlas upp och avleds. Mätningar av flöden och av föroreningar i dagvattnet kan på så sätt genomföras. Provtagningen bör vara flödesproportionell och resultatet jämföras med en parkeringsyta med tät yta.

APPENDIX C

Dränerande markstensbeläggningar för förbättrad miljö

– Litteraturöversikt

Robert Karlsson

Fredrik Hellman

Klas Hansson

Jonas Wennström

Förord

Denna litteraturundersökning är en del av projektet ”Dränerande markstensbeläggningar för förbättrad miljö”, MinBasII projekt 2.1.5. Litteraturundersökningen har genomförts vid VTI i Linköping. Projekt har finansierats av MinBaS II och Cementa AB.

Projektgruppen har bestått av:

- Robert Karlsson, VTI
- Fredrik Hellman, VTI
- Klas Hansson, VTI (numera Golder Associates)
- Jonas Wennström, VTI
- Erik Simonsen, Cementa AB

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING

1. INTRODUKTION	35
1.1. BAKGRUND	35
1.2. PROJEKTETS SYFTE OCH AVGRÄNSNING	35
1.3. LITTERATURÖVERSIKTENS SYFTE, AVGRÄNSNING OCH METOD	36
2. PRINCIPERNA FÖR DRÄNERANDE MARKSTENBELÄGGNINGAR OCH DESS NYTTA	37
2.1. KONCEPTET	37
2.2. LOKALT OMHÄNDERTAGANDE AV DAGVATTEN (LOD)	37
2.3. RENING AV VATTEN	38
2.4. FÖRBÄTTRING AV STADSMILJÖN	39
2.4.1. <i>Vegetation</i>	39
2.4.2. <i>Nedkylning av städer</i>	39
2.5. KOSTNADER	40
2.6. BEGRÄNSNINGAR	40
3. EXEMPEL OCH ERFARENHETER FRÅN ANDRA LÄNDER	42
3.1. STORBRIANNIEN	42
3.2. USA	43
3.3. AUSTRALIEN	44
3.4. BELGIEN	45
4. TYPKONSTRUKTIONER FÖR PERMEABLA BELÄGGNINGAR	46
4.1. FULL INFILTRATION (TYP A)	46
4.2. PARTIELL INFILTRATION (TYP B)	47
4.3. INGEN INFILTRATION (TYP C)	47
4.4. SYSTEM FÖR ERSÄTTNING AV FÖRSTÄRKNINGSLAGER	48
5. UPPBYGGNAD OCH MATERIAL	49
5.1. DRÄNERANDE MARKSTENSTYPER	49
5.1.1. <i>Marksten med dränerande fogar</i>	49
5.1.2. <i>Mönster med perkolationsöppningar mellan markstenarna</i>	49
5.1.3. <i>Konstruktioner/markstenar med perkolationsöppning</i>	49
5.1.4. <i>Markstenar av dränerande betong</i>	49
5.2. FOGMATERIAL OCH SÄTTSAND	50
5.3. OBUNDET BÄRLAGER OCH FÖRSTÄRKNINGSLAGER	52
5.3.1. <i>Förstärkningar för bättre bärighet</i>	53
5.3.2. <i>Återvunnet material</i>	54
5.4. SKYDDSLAGER	54
5.5. ÖVRIGA MATERIAL	54
5.5.1. <i>Geotextil</i>	54

5.5.2.	<i>Impermeabla membran</i>	54
5.5.3.	<i>Alternativa beläggningsstyper</i>	55
6.	UTFORMNING AV ANLÄGGNINGEN	56
7.	DIMENSIONERING	58
7.1.	STRUKTURELL DIMENSIONERING	59
7.1.1.	<i>Dimensionering för konventionella markstenar</i>	60
7.1.2.	<i>Dimensionering för dränerande markstenar</i>	60
7.2.	HYDRAULISK DIMENSIONERING	62
7.2.1.	<i>Hydrologiska och hydrauliska processer</i>	62
7.2.2.	<i>Konstruktionsdelarnas inverkan på hydrologi/hydraulik</i>	64
7.2.3.	<i>Dimensionering med hänsyn till vatten</i>	65
7.2.4.	<i>Val av typkonstruktion</i>	65
7.2.5.	<i>Råd gällande ytans infiltrationskapacitet</i>	67
7.2.6.	<i>Dimensionering för magasinering i förstärkningslagret</i>	67
7.3.	LUTANDE SYSTEM.....	69
7.4.	DATORPROGRAM	70
8.	MILJÖASPEKTER	71
8.1.	NATURLIGARE SYSTEM	71
8.2.	LOKALT OMHÄNDERTAGANDE AV DAGVATTEN (LOD).....	71
8.3.	HYDRAULISKA KONSEKVENSER	71
8.4.	RENING AV DAGVATTEN	73
8.4.1.	<i>Partikulärt bundna föroreningar</i>	73
8.4.2.	<i>Föroreningar i löst form</i>	73
8.4.3.	<i>Organiska föroreningar</i>	74
9.	BYGGPROCESSEN	76
10.	DRIFTSKEDET	77
10.1.	MINSKAD INFILTRATIONSFÖRMÅGA.....	77
10.2.	UPPBYGGNAD MED HÄNSYN TILL KALLT KLIMAT.....	77
10.3.	ÖVERVAKNING, DRIFT OCH UNDERHÅLL	78
10.3.1.	<i>Överbyggnadens funktion</i>	78
10.3.2.	<i>Vinterdrift</i>	80
11.	REKOMMENDATIONER	81
12.	REFERENSER	83

Sammanfattning

Intresset ökar för ekologiskt hållbara dräneringssystem. En av orsakerna är en kraftig ökning av andelen hårdgjorda ytor i urban miljö som minskar grundvattenbildning i städerna och förändrar livsbetingelserna för växter och djur. Vid häftiga regn rinner även stora mängder vatten, som kan innehålla föroreningar och partiklar från biltrafiken, utan rening rakt ut i vattendrag, sjöar och hav. Rapporten ingår som en del i ett större projekt som syftar till att utveckla dränerande marksten som ett alternativ för att lösa ovan beskrivna problem. Litteratur på området redovisas och sammanställs för att bilda bas för fortsatt arbete med att praktiskt anlägga dränerande markstensytor i Sverige.

Normalt sett anses täta beläggningar som dränerar bort vatten från över- och underbyggnad vara att föredra av vägtekniska skäl. Rapporten emotsäger inte detta men nyanserar bilden av risker ifråga om mindre trafikerade ytor så att dränerande ytor framstår som ett pålitligt alternativ. Vidare ges råd om vad som bör beaktas vid projektering och byggande rörande bärighet, förmåga att magasinera och fördröja vatten, undergrundens beskaffenhet, samt aspekter på hur miljön kan förbättras. Till sist ges råd om drift och underhåll.

Miljöaspekter ges stort utrymme i rapporten, eftersom dessa hänsyn är själva syftet med dränerande beläggningar. Det konstateras att nyttan med dränerande beläggningar gäller minskad belastning på dagvattensystem, förbättrad grundvattenbildning, förbättrade livsbetingelser för växter, samt rening eller kvarhållande av föroreningar. Kvarhållande av föroreningar helt eller under viss tid är önskvärt för att minska påverkan på framförallt vattendrag men även närliggande mark. Även fördröjning av utsläpp är önskvärt, särskilt om alternativet kan vara häftig ytavrinning i samband med snösmältning eller kraftig nederbörd, som spolar med sig ansamlade föroreningar. Rening av organiska föroreningar såsom oljespill rapporteras effektivt om de rätta betingelserna för biodegradering kan åstadkommas i överbyggnaden.

1. INTRODUKTION

1.1. BAKGRUND

Intresset för ekologiskt hållbara dräneringssystem har de senaste åren ökat kraftigt internationellt sett. En av orsakerna är en kraftig ökning av hårdgjorda ytor i urban miljö. Dessa hårdgjorda ytor förändrar det hydrologiska kretsloppet, minskar grundvattenbildning i städerna och förändrar livsbetingelserna för växter och djur. Vid häftiga regn rinner även stora mängder vatten, som kan innehålla föroreningar och partiklar från biltrafiken, ofta utan rening rakt ut i recipienten. Utan naturlig fördröjning kan dessutom häftiga regn förorsaka stora lokala översvämningar. I samband med klimatförändringar förväntas problemen ytterligare öka med uppkomsten av ökande och intensivare nederbörd. Detta har redan aktualiserats i ett flertal svenska kommuner i samband med intensiv nederbörd.

Exempel på ny teknik som kan bidra till att minska problemen och skapa mer ekologiskt hållbara dräneringssystem i urban miljö är dränerande markstensbeläggningar. Denna litteraturöversikt syftar till att ge en ökad kunskap om denna typ av markstensbeläggningar och ge grund för att utveckla denna teknik för svenska förhållanden.

1.2. PROJEKTETS SYFTE OCH AVGRÄNSNING

Denna litteraturöversikt ingår som en del av MinBas II projekt 2.1.5 ”Dränerande markstensbeläggningar för förbättrad miljö”. Det övergripande syftet med projektet är att:

- utreda kommunernas behov och möjlighet till lokal förbättring av miljön. Utredningen avser lokal omhändertagande av dagvatten, reduktion av föroreningar till dagvattensystemet, biodegradering, samt möjlighet till förbättrat lokalklimat. Utgångspunkten är användandet av dränerande markstensbeläggningar som alternativ till traditionella beläggningstyper.
- inventera och utnyttja internationell kunskap och erfarenhet för framtagandet av svenska anvisningar för dimensionering och utförande av öppna överbyggnader för dränerande markstensbeläggningar. Anvisningarna skall även beskriva miljöpotentialen.
- vidareutveckla ballastmaterial för öppna överbyggnadslager samt hur dessa skall kombineras för optimal dräneringsförmåga men med bibehållna krav bärighet och tjälfarlighet. För ökad miljöeffekt bör fokus även läggas på möjligheter kring användandet av mineralbaserade filtermaterial.
- tillsammans med svenska kommuner och tillverkare av markstensbeläggningar etablera demonstrationsprojekt där konstruktionslösning och samt miljöförbättrande aspekter undersöks.
- etablera en sammanhållen kunskaps- och informationsbas för segmentets framtid utveckling

1.3. LITTERATURÖVERSIKTENS SYFTE, AVGRÄNSNING OCH METOD

Denna litteraturöversikt avser vara en del i etableringen av en kunskaps- och informationsbas för framtida utveckling där material och koncept vidareutvecklas och provas i demonstrationsprojekt.

Litteraturöversikten baseras på tillgänglig litteratur via branschorganisationer samt källor funna via sökning utförd av dokumentalist vid VTI.

2. PRINCIPERNA FÖR DRÄNERANDE MARKSTENSBELÄGGNINGAR OCH DESS NYTTA

Dränerande markstenar har i princip samma användningsområde som konventionella markstensbeläggningar dvs. som beläggning på gång och cykelgator, fordonstrafikerade gator i stadsmiljö och på parkeringsplatser. Den stora skillnaden består i hur regnvattnet dräneras. Idén är att skapa ett mer ekologisk hållbart system. Nedan ges en generell beskrivning av funktion och fördelar med dränerande markstenar.

2.1. KONCEPTET

Konceptet för dränerande beläggningar finns bland annat beskriven i handböcker utgivna av intresseorganisationer som Interpave (2008), UNI-GROUP (2008) och ICPI (2008). Nedan följer en sammanfattning av huvudkoncepten som tas upp i ovanstående litteratur.

Vid användning av konventionella markstenar och asfaltbeläggning rinner regnvattnet på ytan och samlas upp i rännilar och pölar för att slutligen rinna ner i dräneringssystemet för dagvatten. Den underliggande konstruktionen ”skyddas” från vatten. Permeabla markstensbeläggningar fungerar utifrån en annan princip. Regnvatten dräneras istället ner igenom beläggningen till ett underliggande grovkornigt lager. Detta lager samlar upp vattnet som en reservoar, varifrån vattnet sakta kan dräneras ner i marken eller till ett dräneringssystem. Dräneringen i beläggningssytan åstadkoms i fogarna mellan stenarna och genom eventuella perkolationsöppningar i stenarna. Jämfört med en traditionell markstensbeläggning infiltrerar en permeabel markstensbeläggning avsevärt mycket mera regnvatten. I jämförelse med traditionella dränerande asfaltbeläggningar, där dräneringen sker i själva beläggningen, skiljer sig dränerande markstensbeläggning genom att hela överbyggnaden är öppen för infiltration.

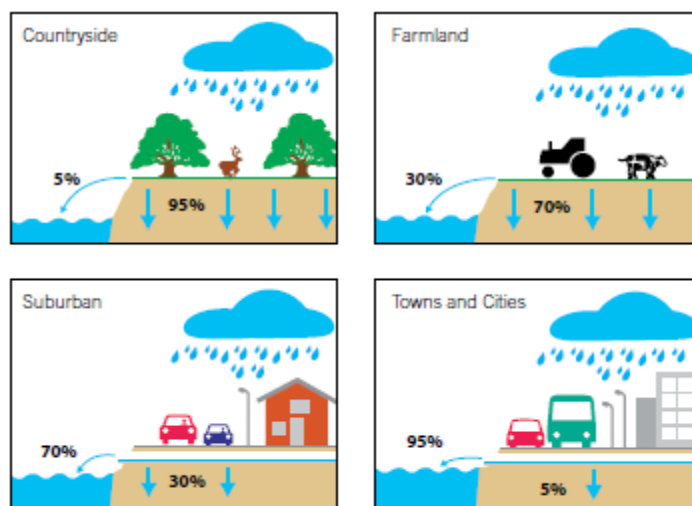
2.2. LOKALT OMHÄNDERTAGANDE AV DAGVATTEN (LOD)

Urbaniseringen har lett till en ökad andel hårdgjorda ytor som radikalt har förändrat vattnets hydrologiska kretslopp. I ett naturligt kretslopp, opåverkat av människan, infiltreras normalt den största delen av nederbörden ner i marken och bara en liten del hittar sin väg direkt till åar, bäckar och floder, vidare ut i havet och sjöarna. I ett hårt urbaniserat område kan inte nederbörden infiltreras ner i marken utan kommer till största delen att dräneras genom ytavrinning ner i ett dagvattensystem för att området inte ska översvämmas av vatten. Vid kraftig nederbörd uppkommer hög belastning på dräneringssystemet med stor risk för översvämningar om den dimensionerade kapaciteten överskrids. Grundvattennivåerna kan också sjunka med skador på växtlighet och grundläggning som möjliga följder.

Problemen förvärras genom att responstiden blir kort då allt regn måste dräneras genom ytavrinning ner i dagvattensystemet och den magasinering förmågan där är begränsad. I Sverige beräknas nederbörden att öka och bli intensivare i framtiden på grund av kli-

matförändringar (Svenskt Vatten, 2007). Flödestopparna kommer därför troligen att bli högre vilket kommer att öka risken för översvämningar, ras, skred och erosioner. Dimensionering av VA-system har tidigare gjorts med hänsyn till att klimatet blir oförändrat. Vid planering av nyinvesteringar idag och framåt är det därför viktigt att vid dimensioneringen även beakta klimatförändringsscenarierna för att de ska klara av framtida högre flödestoppar, vilket också ökar svårigheten i att dimensionera rätt (Vägverket 2008).

Ett sätt att öka responstiden och plana ut flödestopparna är att minska mängden täta ytor och ha mer grönområden. På så sätt minskas mängden vatten som måste dräneras genom ytavrinning. Ibland är inte detta möjligt av olika anledningar. Att använda en beläggning som inte är tät utan låter vattnet passera kan då vara ett alternativ. Permeabel yta som t.ex. dränerande markstenar gör också att vattenbalansen och grundvattennivån i marken kan behållas på en mer naturlig nivå. Detta har fördelar för växt och djur livet men kan också påverka geotekniken, främst risk för sättningar och skador på grundläggning. Särskilt i äldre bebyggelse är det vanligt med träbaserade grundläggningskonstruktioner som skadas vid grundvattensänkningar.



Figur 1: Skiss som visar skillnader i infiltrationsgrad mellan olika urbaniserade områden (Interpave, 2008).

2.3. RENING AV VATTEN

Permeabla markstensbeläggningar kan minska mängden föroreningar i vattnet som belastar dagvattensystemet (t.ex. Interpave; 2008; UNI ECO-STONE). Mängden föroreningar kan minskas genom att vattnet filtreras genom beläggningen och partiklar fastnar i sättsanden eller de övre delarna av överbyggnaden Newman (2006).

På parkeringsplatser ansamlas ofta petroleumprodukter; forskning i Storbritannien (CIRA reports C609) har visat att ytvatten som runnit ut i dagvattensystemet från asfalterade parkeringsplatser innehöll 30-70 mg oljor per liter vatten. I samma rapport görs gällande att användning av dränerande markstenar avsevärt kan reducera mängden petroleumprodukter och andra föroreningar som belastar dagvattensystemet. Föroreningar

stannar på ytan eller filtreras ner i de underliggande delarna av konstruktionen och fastnar där. Oljorna fångas upp i de övre delarna av överbyggnaden och utsätts för biologisk nedbrytning av naturligt förekommande bakterier och svampar och kan på sikt brytas ner enligt de redovisade rapporterna i Interpave (2008). Man kan öka graden av biologisk nedbrytning genom att applicera geotextil direkt under sättsandslagret. Geotextilen är dränerande och släpper igenom vatten, medan oljor fastnar. Bakterier och svampar i geotextilen kan omvandla oljorna till bland annat glukos som dessa organismer använder för sin egen tillväxt och reproduktion (Interpave 2008). Forskningsresultat i rapporten av Newman (2006) från Storbritannien visar att cirka 45 procent av mängden tillförd olja hade brutits ned av biofilmen redan efter sex månader.

Även tungmetaller, och andra föroreningar som inte bryts ner eller tar mycket lång tid att bryta ner naturligt, stannar kvar i beläggningen. Lokalt kan förhöjningar av dessa ämnen förekomma som i förlängningen riskerar leda till utlakning ner i grundvattnet. Normalt sett är infiltration givetvis bättre än att förorenat dagvattnet når recipienter direkt. Ett användningsområde som speciellt för svenska förhållanden borde vara intressant är möjligheterna för biodegradering på snöupplag.

2.4. FÖRBÄTTRING AV STADSMILJÖN

2.4.1. VEGETATION

När träd, buskar och andra växter planteras vid gator i tätorter eller vid parkeringsplatser finns risken att de inte får tillräckligt med vatten för att trivas och växa. Ofta planteras de bara i mindre rabatter/rutor där de omgivande ytorna är impermeabla. Vissa växter har också mindre kraftiga rotsystem vilket gör dem mer känsliga för torka. Impermeabla ytor kan leda till att otillräckligt med vatten infiltrerar till underjorden med torkskador som följd. Levande och frisk vegetation behövs i städer för att förbättra miljön och skapa skugga, bidra till estetiska värden, samt kyla via evapotranspiration. Dessutom ger träd och buskar staden djurliv och absorberar buller (Ferguson, 2005). För att påtagliga effekter ska åstadkommas krävs det dock att de växer sig fullvuxna genom att de förses med tillräckligt med vatten. En lösning är då att omge träden med permeabel marksten för att tillräckligt med vatten ska kunna infiltrera ytorna och öka grundvattennivån. På detta sätt kan urvalet av växter ökas.

2.4.2. NEDKYLNING AV STÄDER

Städer blir betydligt varmare än omgivande landsbygd och bildar en så kallad urban värmeö ("Urban heat island") vid soligt och varmt väder. Effekten uppkommer av att byggnader och impermeabla beläggningar behåller den inkommande solenergin. Dessutom ger den mindre andelen växter och fullvuxna träd att evapotranspirationens nedkylningseffekten inte kan utnyttjas. Permeabla beläggningar kan därmed minska den effekten genom att tillgången på grundvatten förbättras samtidigt som levnadsvillkoren för träd och övrig vegetation blir bättre. Vatten från ytavrinningen från impermeabel asfalt är varmare än vattnet i naturliga vattensamlingar. Om det rinner ut till bäckar och dammar leder det även till ökning av temperaturen i vattensamlingar som har konsekvensen att syrehalten minskar vilket i sin tur försämrar levnadsvillkoren för vattenlivet (Ferguson 2005). För svenska förhållanden är denna fråga av mindre betydelse.

2.5. KOSTNADER

I Wilson a (2006) jämförs investeringskostnaderna för olika beläggningstyper vid olika typer av projekt, bland annat för gångvägar, parkeringsplatser och lagerbyggnader. Beroende typ av projekt, undergrundens material och dräneringstyp, visade studien inte entydigt att permeabla beläggningar har högre investeringskostnad. Dock kan den generellt antas vara aningen högre för dränerande marksten på grund av att:

- Permeabla markstenar är i nuläget en begränsad marknad vilket leder till högre priser för markstenarna och övrigt material
- Det krävs något mer omfattande projekteringsarbete för att dimensionera både hydrauliskt och strukturellt
- Utföraren behöver rätt kompetens med kunskap och erfarenheter av permeabla beläggningar. Om utföraren inte besitter kompetensen ökar risken för brister i konstruktionen och kostnader relaterade till detta (Debo, 2003).
- Underbyggnaden måste dimensioneras för att lagra vattenvolymer vilket ökar materielbehovet

I en rapport från Scott Wilson (2006) följs ovanstående rapport upp genom att även beräkna livscykelkostnaderna. I en livscykelkostnadsberäkning inkluderas inte bara investeringskostnaden utan även framtida kostnader för drift och underhåll av anläggningen under en livscykel. En fördel med permeabla beläggningar är att de i många fall inte behöver ett dräneringssystem som kopplas till vilket resulterar i lägre belastning på dagvattensystemet. Lägre belastning, tillsammans med att systemet inte behöver dimensioneras för lika hög vattenföring, leder till lägre kostnader för drift och underhåll. I rapporten utfördes beräkningar för fyra olika typer av projekt med tre beläggningstyper (permeabel marksten, asfalt och betong) samt olika terrassmaterial. I rapporten hade permeabel marksten i de flesta av fallen högre investeringskostnad än asfalt men hade i gengäld lägre kostnader för drift och underhåll. Beroende på typ krävs olika typer av dränering, vilket gör att ingen av beläggningarna har konsekvent lägre eller högre livscykelkostnader. Studien visade dock att i samtliga fall är kostnaderna för asfalt och marksten jämförbara. Sammanfattningsvis framstår det som viktigt att värdera kostnaderna för beläggning, växter och dagvattensystem i en samlad bedömning.

2.6. BEGRÄNSNINGAR

Anläggning av permeabla beläggningar är inte lämpligt vid alla platser. Nedan anges ett par exempel på platser som kan vara olämpliga:

- I Ferguson (2005) uppmanas det att undvika förorenade platser som sedan tidigare har haft impermeabel beläggning som har förhindrat att perkolation av föroreningarna inträffar tillsammans med infiltration av vatten. Om beläggning byggs om med permeabel beläggning kan föroreningarna perkolera ned till grundvatten.
- Platser där det finns risk för utsläpp, t ex där det sker omlastningar med farligt gods.

- Ett särskilt nyttjande av platsen gör det ibland olämpligt (Ferguson 2005). Exempelvis när utformningen medför att trafiken för med sig smuts som leder till minskad infiltrationsförmågan eller vid hög trafikbelastning (höga flöden eller tung trafik).
- Platsens förutsättningar gör den olämplig ur ett vattenföringsperspektiv. Om högsta grundvattennivån når upp till 0,6-1 m till underbyggnadens underkant rekommenderas inte dränerande marksten (ICPI 2006 och Interpave2008). Det kan leda till att konstruktionen inte kan lagra tillräckligt med vatten. Om terrassens material har för låg konduktivitet (permeabilitet $K < 1 \cdot 10^{-10}$) kan inte tillräckligt med vatten passera genom konstruktionen, vilket omöjliggör typ A konstruktion (se nedan). Om ytan lutar kraftigt minskar underbyggnadens vattenlagringskapacitet.

Det är dock viktigt att påpeka att det finns olika typkonstruktioner för permeabla system. Till exempel finns det system som inte tillåter någon infiltration till underjorden utan istället att allt vatten dräneras bort med dräneringssystem. Detta kan då kompensera för platsens sämre hydrauliska förutsättningar eller om det finns risk för utsläpp finns möjligheten att samla upp föroreningarna via dräneringssystemet.

3. EXEMPEL OCH ERFARENHETER FRÅN ANDRA LÄNDER

Nedan presenteras erfarenheter från några länder som använder dränerande markstensbeläggningar.

3.1. STORBRIANNIEN

Användandet av dränerande beläggningar har ökat kraftigt i Storbritannien de senaste åren som en följd av ökade krav på att minska översvämningsrisken. Det finns även en strävan mot ett mer ekologiskt hållbart samhälle och anpassning till de kommande klimatförändringarna som innebär mer nederbörd. År 2010 fastställdes även lagen "Flood and Water Management Act" i England som innehåller långtgående krav på utformningen av dräneringssystemen för nybyggnation som täcker väsentliga delar av markytan (Interpave 2010). När lagen har trätt i kraft 2011 måste dräneringssystem godkännas av myndigheter för att ligga linje med nationella standarder för SUDS, som beräknas publiceras av den brittiska regeringen 2011. Denna lag möjliggör att SUDS efterföljs större utsträckning i framtida utvecklingsprojekt.

Systemen har gått från att vara nya, oprövade och använda endast i forskningssyfte till att idag vara relativt välprövade baserade på 20 års utveckling. I Storbritannien har branschorganisationen CIRIA (Construction Industry Research and Information Association, London) presenterat en design guide (C523) för SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems). Denna guide och andra publikationer från CIRIA har fått genomslag för design och konstruktion av dränerande beläggningar i Storbritannien. Interpave är en sammanslutning av ledande markstens- och Prefabbetongproducenter. De har också gett ut en designguide (Interpave 2008) baserad på dokumentation från CIRIA men med fokus på dränerande markstensbeläggningar. I Interpave (2005) presenteras erfarenheter från flera referensobjekt med markstenar i Storbritannien. De vanligaste användningsområdena är parkeringsplatser, cykel och gångvägar, gator i stad och i villaområden. Även områden med tung trafik som t.ex. industriområden kan beläggas med dränerande marksten. De positiva egenskaperna som lyfts fram är:

- Minskad risk för översvämning
- Minskar mängden vatten och flödesintensiteten i dagvattensystemen och vattendrag vid kraftiga regn
- Förbättring av vattenkvalité genom att föroreningar kan renas eller filtreras nära utsläppskällan. Vid svår förorening kan vattnet fångas upp och renas på plats.
- Bio-nedbrytning av petroleumbaserade ämnen och andra föroreningar

I Interpave CASES finns en sammanställning av ett par projekt i Storbritannien där dränerande markstenar har använts. Bland dem finns en parkeringsplats vid en tågstation med en yta på ca 30000 m², varav ca 14000 m² var dränerande med full infiltration vilket medförde att traditionell dränering ej behövdes installeras. Det nämns att detta resulterade i lägre kostnader än om motsvarande anläggning skulle byggts på traditionellt vis. Ytterligare ett fall av användning som redovisas är på ytorna vid en skola som lig-

ger inom ett område som är ett naturligt habitat för större vattensalamandrar. Genom att använda dränerande marksten kunde en mer naturlig miljö skapas för djurliv med dammar och bäckar. Utformningen gjordes så att retentionstiden av vattnet ökade för att biologisk nedbrytning av föroreningar kunde åstadkommas naturligt.

3.2. USA

UNI-Group USA(2008) har presenterat en designguide med relativt detaljerade instruktioner om konstruktion. De ger också beskrivningar av ett antal (20-30 st) referensobjekt och forskningsprojekt där deras system har provats. Beläggningarna har lagts i urban miljö som t.ex. parkeringsplatser, gator i städer och i villaområden. Även på industriomter, kajer och hamnoråden med tung trafik har de dränerande betongplattorna lagts med framgång.

Erfarenheterna är generellt goda och man menar att systemen avsevärt minskar risken för översvämningar jämfört med konventionella impermeabla beläggningar. Vattenvolymen i vattendragen blir mindre än tidigare vid motsvarande nederbörd som en följd av att vatten infiltreras ner i marken. Genom den minskade vattenvolymen och fördröjda genomströmningen kan därmed extrema flöden undvikas. Därmed också dess konsekvenser som exempelvis erosioner och översvämningar. Vattenkvalitén förbättras i närliggande vattendrag och grundvattennivån stabiliseras.

Intressant ur ett nordiskt perspektiv är rekommendationer för att undvika av frost och tjälproblem. För att undvika problem rekommenderas att man noga undersöker undergrundens infiltrationshastighet. Den bör inte understiga $2 \cdot 10^{-6}$ m/sek för att inte för mycket vatten ska magasineras i underbyggnaden, därigenom se till att tillräckligt med utrymme finns för isen att expandera.

I publikationen från ICPI (2008) rekommenderas det även att plogning kan ske med standardplogar men det avråds från att arrangera snöupplag på de permeabla beläggningarna, eftersom snön kan innehålla stora mängder salt och andra föroreningar. Vidare menar man i publikationen att sandning bör undvikas på grund av att det sätter igen fogar, vilket reducerar beläggningens infiltrationsförmåga. Vidare menas att användning av vägsalt bör minimeras eftersom vägsaltets kloridjoner ej kan brytas ned, vilket ger en påverkan på känsliga vattenmiljöer (ICPI, 2006). I Sverige används sandningssand med fraktion 2-5 som just har de infiltrerande egenskaperna som efterfrågas i fog- och sättsandsmaterialet. När en viss typ av marksten undersöktes, visade det sig att användning av individuella stenar med större öppningar och fogar förbättrade väggreppet jämfört med konventionell asfalt. Det tillsammans med den bättre dräneringen som permeabla markstenar åstadkommer som ger mindre isbildning, påvisades det att minimalt med salt behövdes för att hålla ytan i funktion.

Användning av permeabla beläggningar kräver ett visst mått av underhåll för att de ska fungera över tiden. Ett problem är att partiklar sätter igen fogarna och försvårar dräneringen. UNI ECO-STONE har visat att en vakuumsug för gator fungerar för att hålla porerna fria från sediment. Underhållsfrekvensen beror på trafikintensiteten men 1-2 gånger per år är normalt.

ICPI (Interlocking Concrete Pavement Institute) har tagit fram en guide (ICPI, 2008) som jämför olika typer av dränerande beläggningar. ICPI har också presenterat en guide för val, design, konstruktion och underhåll av dränerande beläggningar (ICPI, 2006). Även i Burak (2004) visas positiva erfarenheter av dränerande markstensbeläggningar. Dessa kan summeras med; förbättrad vattenkvalité, reducering av vattenavrinning med upp till hundra procent, höjning av grundvatten nivån, minskning av nedströms flöden och minskad erosion.

I Sieglen (2004) undersöktes användningen av permeabel marksten vid anläggningar med hög belastning genom att anlägga en testsektion vid ett hamnområde i staten New York, tillsammans med sektioner med konventionell marksten och asfaltbetong. Det medförde att beläggningarna kunde jämföras mer rättvist eftersom de uppfördes vid samma tidpunkt och utsattes för liknande strukturell belastning. Resultaten visade att båda typerna av markstenar kunde motstå belastningen av det förväntade nyttjandet vid en hamn. Enligt rapporten erbjöd dränerande marksten ett kostnadseffektivt alternativ som hade hög kvalitet, gav naturlig rening av vattnet och hade god strukturell förmåga för hantera de arbeten som sker vid en hamn.

3.3. AUSTRALIEN

I Australien har "University of South Wales" och "University of South Australia" studerat permeabla beläggningar. En slutsats av Shackel och Pearson (2003) är att dränerande beläggningar, såsom dränasfalt och konventionella betongplattor, inte kan dränera tillräckligt med hänsyn till de stora nederbördsmängder som ofta faller i Australien. Porer sätter ofta igen snabbt och hindrar vattnet att infiltrera. Utformning av konstruktion för dränerande beläggningar för klimatet i Australien diskuteras ibland annat i Shackel (2008).

Vid användning på parkeringsplatser har gräsarmering visad god funktion. De kan fånga upp föroreningar men tillåter bara begränsade mängder vatten att dränera. Plattor med extra stora fogar är lämpliga endast för lätt trafik och parkeringsplatser. En typ av dränerande marksten har visat sig ge bra infiltrationshastigheter och samtidigt god strukturell förmåga för att klara av trafiken. Dessa har en kantgeometri med distanser för att skapa perkolationsöppningar vid kanterna av markstenarna, som ger god förmåga för att infiltrera regnvattnet. Dessa undersöktes i ett studieprojekt av en väg i en förort i Australien. Först var allmänheten skeptiska under byggprocessens gång men efter färdigställandet vände det till ett "entusiastiskt erkännande". Beläggningen har lett till att lokala översvämningar har reducerats eller eliminerats helt. Dessutom anges det att ombyggnaden hade som följd att områdets attraktivitet ökade på grund av förbättrad vattenkvalitet och ökade estetiska värden, vilket ökade områdets fastighetspriser.

Det konstateras (Shackel et al, 2008) att permeabla beläggningar är en viktig komponent i systemet för att förhindra översvämningar i urban miljö och kan bidra till att förbättra vattenkvalitén.

3.4. BELGIEN

Ett forskningsprojekt (Beeldens, Herrier, och Vennekens, 2006) har genomförts för att öka förståelsen för hur dränerande beläggningar fungerar. Försöket kan betecknas som ett pilotprojekt. En parkeringsplats valdes som testplats. Testområdet byggdes med tolv olika sektioner innehållande olika kombinationer av markstenar, bärlager, förstärkningslager och fogmassor. Syftet med projektet var öka kunskapen om lagringskapacitet och infiltration av nederbörd.

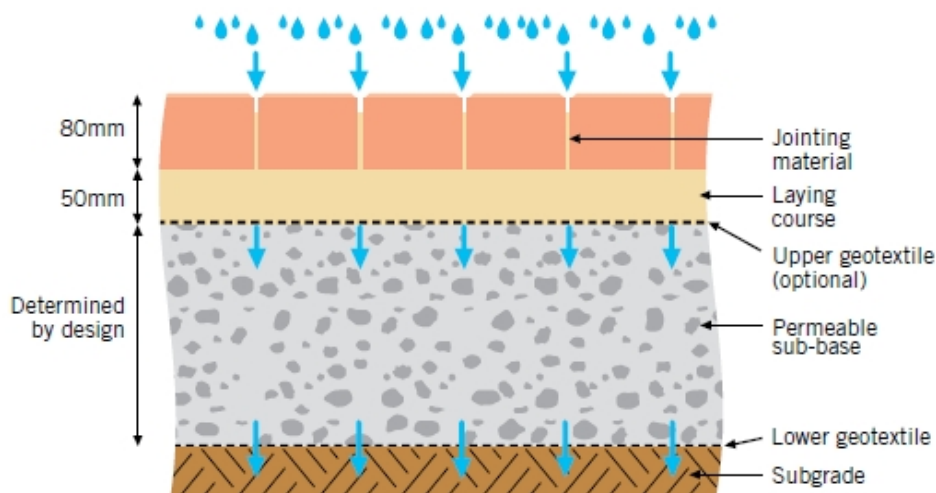
Resultaten visar att systemen med permeabla dränerande beläggningar har god förmåga att infiltrera vatten. Skillnaderna mellan de olika markstensbeläggningarna var främst dess förmåga att dränera nederbörden vid markytan. Lagringskapaciteten styrs av tjockleken på bär och förstärkningslager och på undergrundens förmåga att dränera vatten. Under testperioden har systemen fungerat bra. En något minskad ytdräneringsförmåga har noterats under testperioden.

Ovanstående projekt följdes upp i Beeldens(2009) med vidare undersökning av materialval för underbyggnaden för att anpassa dess lagringskapacitet. Dessutom sammanställde rapporten resultaten av verkliga projekt för att göra en uppföljning av deras prestanda. Bland dem fanns en parkeringsplats för en bildistributör med en area på ca 70000 m² som byggts enligt rekommendationer från det tidigare forskningsprojektet. Resultaten påvisade att beläggningen hade en hög infiltrationsförmåga direkt efter byggnation. Visserligen försämrades den mot slutet av de 10 undersökta åren men behöll tillräcklig förmåga för att dränera ett regn med en intensitet på $2,7 \cdot 10^{-5}$ m/s under 10 min. Vidare framförs det att minskad infiltrationsförmåga främst är begränsad till beläggningen, som kan rensas med exempelvis tryckluft.

4. TYPKONSTRUKTIONER FÖR PERMEABLA BELÄGGNINGAR

Beroende på undergrund, krav på dagvatten och markens känslighet för ökande fukthalt eller risk för utlakning av kemikalier kan olika hydrauliska konstruktioner vara lämpliga. De efterföljande fyra styckena har översatts från Interpave (2008), 'Guide to the design, construction, and maintenance of concrete block permeable pavements'.

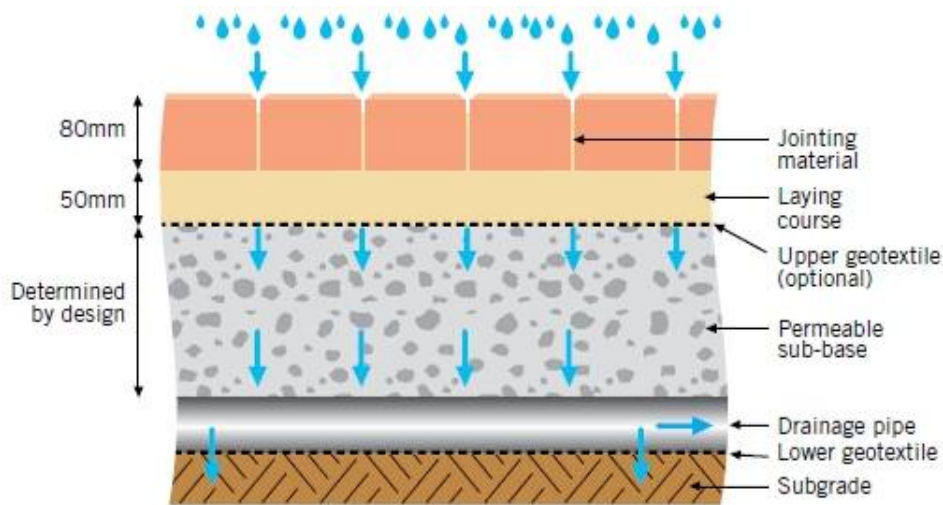
4.1. FULL INFILTRATION (TYP A)



Figur 2: Skiss på en konstruktion som tillåter full infiltration.

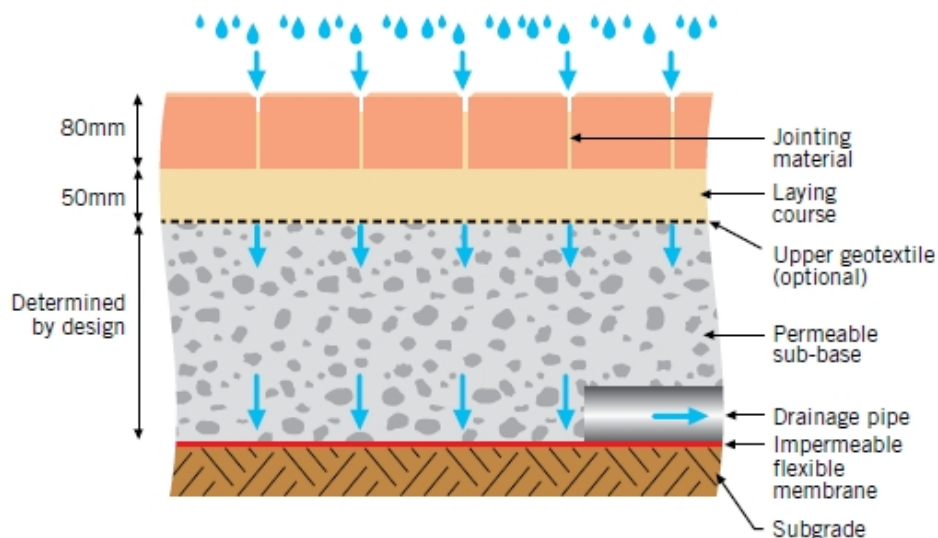
Detta system innebär att allt regn som faller på markstensytan infiltrerar genom denna och vidare ner genom överbyggnaden för att så småningom nå undergrunden. En viss retention och lagring sker i konstruktionen och den underliggande marken och storleken av denna beror på materialens hydrauliska egenskaper. Systemet kallas ibland på engelska för "zero discharge" eftersom den nya etableringen inte medför någon ytterligare belastning på existerande rörsystem och vattenreningsverk. Eftersom inga rör eller anslutningar krävs leder detta till kostnadsbesparingar. I vissa fall bör man inkludera ett överfall för att hantera en eventuellt vattenfylld konstruktion. Genom detta minskas känsligheten för eventuell igensättning över tiden.

4.2. PARTIELL INFILTRATION (TYP B)



Figur 3: Skiss på en konstruktion som tillåter delvis infiltration. System B används i de fall undergrunden inte klarar att ta emot allt infiltrerande vatten. I system B läggs dräneringsrör i undergrunden så att eventuellt kvarblivet vatten exempelvis kan ledas vidare till det kommunala avloppsnätet eller intilliggande vattendrag. Den mängd vatten som perkolerar till undergrunden i detta system är i praktiken ofta en stor del av den totala nederbörden.

4.3. INGEN INFILTRATION (TYP C)



Figur 4: Skiss på en konstruktion där allt vatten i underbyggnaden dräneras bort. Detta system (Figur 4) innebär att allt vatten som infiltrerar genom markstensbeläggningen hålls kvar i en vattentät "låda" som bildas genom att en impermeabel geotextil läggs ovanpå undergrunden och upp längs väggarna på konstruktionen. Denna konstruktion är lämplig då undergrunden har låg hydraulisk konduktivitet, dålig bärighet/styrka,

eller när en belastning från vägområdet inte är önskvärd (som t.ex. ovanpå ett grundvattenmagasin). System C är också lämpligt för förorenade platser där man inte vill orsaka ökat läckage av föroreningar pga. tillflöde av vatten. Liksom som för system B anläggs dräneringsrör som transporterar bort vatten från den mättade zonen till omgivande avloppsnät, vattendrag eller liknande. Systemet kan i tillåtliga fall användas för att ansamla vatten till bevattning mm.

4.4. SYSTEM FÖR ERSÄTTNING AV FÖRSTÄRKNINGS- LAGER

Det finns konstruktioner på marknaden som kan ersätta vanliga granulära stenmaterial. Typiskt för dessa är att vattenlagringskapaciteten är mycket större än i ett naturligt material och att konstruktionens tjocklek genom detta kan minskas med 30-40% (Interpave, 2008). Detta innebär att mängden schaktmassor kan minskas, vilket är särskilt lönsamt vid byggande på förorenad mark eftersom sådant material kräver kostsam efterbehandling. Med anledning av att konstruktionen av dessa system varierar med tillverkare bör råd om design sökas från försäljaren av utrustningen.

5. UPPBYGGNAD OCH MATERIAL

Nedan beskrivs val av material för att använda i konstruktionen. Först beskrivs olika typer av permeabla beläggningar, därefter lämplig sand för fogarna och sättsanden, vidare om uppbyggnad av underbyggnad samt om geotextiler för att separera lagren.

5.1. DRÄNERANDE MARKSTENSTYPER

Nedan presenteras ett par exempel på olika markstenstyper.

5.1.1. MARKSTEN MED DRÄNERANDE FOGAR

Konventionella markstenar används men fogsanden mellan stenarna ska vara av sådan gradering att infiltration av ytvatten blir möjlig. För att ytterligare öka den dränerande förmågan kan markstenarna läggas med större mellanrum än brukligt. Samtidigt måste dock beläggningens stabilitet beaktas för att åstadkomma tillräcklig bärighet.

5.1.2. MÖNSTER MED PERKOLATIONSÖPPNINGAR MELLAN MARKSTENARNA

Markstenstensbeläggningar med perkolationsöppningar är exempelvis utformade med distanser vid markstenarnas kanter för att skapa bredare fogar mellan stenarna. Markstenarna läggs då ut på sådant sätt att stenarnas distanser ligger kant i kant med varandra. Därmed skapas en kontaktyta, som genom friktion skapar en låsning av stenarna som därigenom förhindrar att markstenarna förflyttas vid användning och ger konstruktionen stabilitet för motstå trafiken. Andra typer av utformningar är att markstenarnas hörn fasas av, som tillsammans med tre andra stenar skapar en fyrkantig öppning som möjliggör infiltration. Konstruktionerna medför att mindre eller ingen sättsand behövs som ger en god infiltrationsförmåga och ytavrinning som följd.

5.1.3. KONSTRUKTIONER/MARKSTENAR MED PERKOLATIONSÖPPNING

Markstenar med perkolationsöppningar har öppningar i stenarna som tillåter infiltration av vatten. En vanligt förekommande konstruktion är gräsarmering, där ett rutmönster skapas för att ge tillräcklig stabilitet. En annan typ av konstruktion är att markstenarna är sammanfogade i en underliggande konstruktion. Ett exempel är uppstickande betongpedestaler som är sammansatta med ribbor längs- och tvärgående med konstruktionen. Konstruktionen fylls därefter med grus upp till pedestalernas överkanter. Dessa ger därmed stabilitet samtidigt som det ger stora ytor som är permeabla.

5.1.4. MARKSTENAR AV DRÄNERANDE BETONG

Till skillnad från föregående exempel där infiltrationen åstadkoms genom öppningar i och mellan stenarna, så är istället markstenarnas material permeabla. Den permeabla förmågan skapas genom att använda grövre stenmaterial som blandas med cementen. Detta ger markstenar med högre porositet som möjliggör att vatten kan passera.

5.2. FOGMATERIAL OCH SÄTTSAND

Egenskaperna hos både sättsand och fogmaterial måste prioriteras med avseende på olika krav. Sättsand i dränerande markstensbeläggningar har inte rapporterats i behov av andra krav än konventionella beläggningar mer än att sättsandens dränerande förmåga säkerställs. Sättsanden ska både kunna deformeras för att ta upp skillnader i produktmått i samband med läggning, men senare utgöra ett tillräckligt styvt underlag som begränsar sättningarna i beläggningen. När problem infunnits med sättsand i hög trafik, har vatten i sättsanden i de flesta fallen varit den största faktorn bakom det enligt Burak (2006). Det på grund av att fuktigheten gör sanden instabil om den innehåller för små partiklar, eftersom som när de blandas med vattnet bildas en sörja som smörjer hela lagret vilket gör att markstenen ej sätter sig.

Även för fogmaterialet tillkommer kravet att fogmaterialet ska vara dränerande. Fogmaterial ska annars ha egenskaper som innebär att materialet kan fylla ut fogen, ha god resistens mot deformationer, ha hög styvhet, samt ha egenskaper så att materialet sitter kvar i fogen och inte spolats eller sopas bort. Fogmaterialets funktion är nödvändig för att skapa den lastöverföring mellan markstenarna som krävs för att beläggningen ska fungera tekniskt som en enhet.

Det finns ett flertal olika rekommendationer på lämplig sättsand med siktkurvor. I Interpave, 2008 nämns ett lite vagare krav på att majoriteten av sanden ska passera en 6,3mm såll men det mesta ska vara kvar i en 3mm. I Interpave (2003) ges en rekommendation på sättsand och fogmaterial med siktkurvor enligt tabell 1.

Tabell 1.

Sikt (mm)	Passerande mängd (vikt-%)
10	100
6,3	85-100
3,35	0-35
2,36	0-10

I Burak (2006) diskuteras val av sättsand enligt vissa även andra viktiga karaktärer som bör tas hänsyn till för lång hållbarhet. Det är viktigt att sanden testas innan byggprocessen för att säkerställa att den är korrekt. I rapporten ges ett exempel på ett fall USA där en väg belades med permeabla markstenar som kort efter öppnandet utsattes för ett kraftigt skyfall. Sätt- och fogsanden blev till lerliknande vätska som sipprade ut mellan sterna. Efter felet användes istället en sand med 0 % passerande mängd i 0,075 mm-sikt vilket medförde att problemet försvann. Sandspecifikationer med 3 % finkornigt material kan leda till femfaldig minskning av infiltrationsförmågan. Dock på grund av det opraktiska i att få bort de finaste fraktionerna rekommenderas det att upp till 1 % får passera en 0,075 mm-sikt. I rapporten rekommenderas det att sättsand med siktkurva enligt tabell 2 används. Enligt Burak (2006) påverkar även kornens form stabiliteten. Runda eller kubiska former på har vid studier visat ge god stabilitet medan korn som varit vinkelformiga/kantiga har använts i konstruktioner som fallerat. Det anges att minst 60 % av innehållet bör vara runda till halvinkelformiga former som testat enligt

ASTM D2488. I ett test av sättsand utförd av ICPI, 2004 innehöll majoriteten av de bäst presterande sättsandstyperna mer än 80 % kvarts.

Tabell 2.

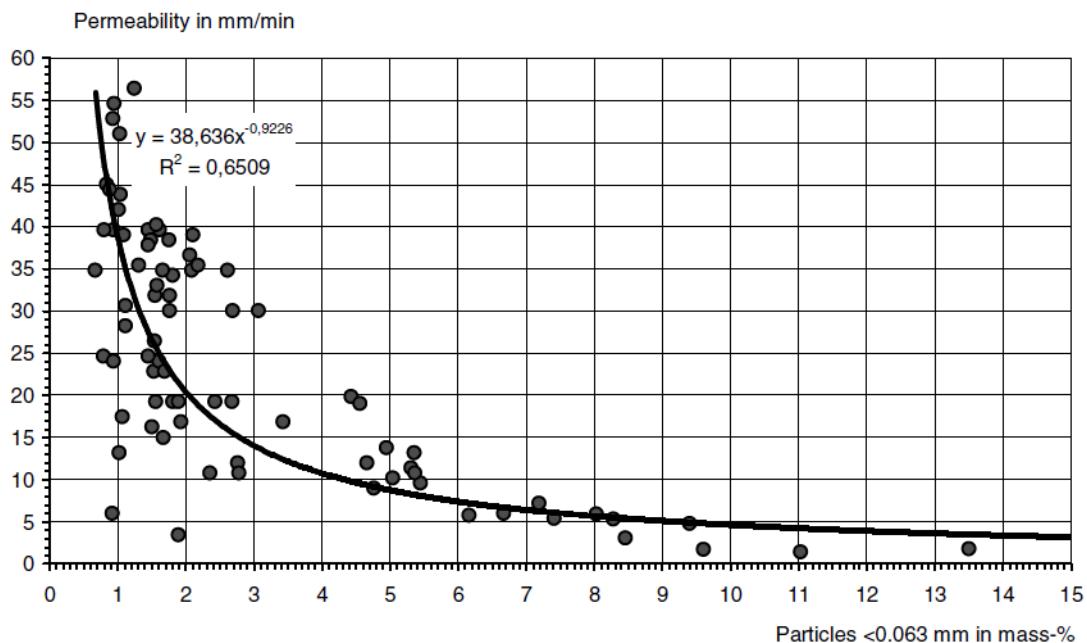
Sikt (mm)	Passerande mängd (vikt-%)
10	100
5	95-100
2,5	80-100
1,25	50-90
0,630	25-65
0,315	10-35
0,160	2-10
0,080	0-1

I Belgien användes fogsand med gradering 2-4 och sättsand med gradering 2-7 (Beeldens 2006). I andra skrifter förekommer graderingar med minsta stenstorlek om 1 eller 2 mm. I något fall förekommer en nedre accepterad gräns om 5 % passerad mängd genom 1 mm sikt. I uppföljande rapporten Beeldens 2009 användes en tjocklek på sättsandslagret på 30mm, vilket även är det som rekommenderas i Svensk Markbetong (1999) för konventionella markstensbeläggningar. I Interpave (2008) rekommenderas istället en tjocklek på 50mm.

Det är också viktigt att poängtera att fogmaterial och sättsand måste fungera tillsammans. För dräneringens skull bör sättsanden kunna dränera minst lika väl som fogmaterialet. Det bör därför undersökas att de två materialen passar ihop eftersom det inte bara göra markstenarna instabila, utan även reducerar konstruktionens permeabilitet. För att de skydda de underliggande lagren anger Interpave (2008) att igensättningskriteriet bör uppfyllas för att fogsanden inte ska migrera till sättsanden.

Igensättningskriterium: $\frac{D_{15} \text{ underlager}}{D_{85} \text{ ovanlager}} \leq 5$

I praktiken brukar man för traditionella markstensbeläggningar dra nytta av att fogen sätts igen av smuts och finpartiklar med åren så att fogen blir mer hållfast. Tyvärr kommer detta att motverka den dränerande förmågan. Istället bör fogen hållas ren, t.ex. genom högtrycksspolning eller sopning och återfogning med fogsand. Nedan illustreras betydelsen av finmaterial i fogsanden på permeabiliteten.



Figur 5: Inverkan av mängden finmaterial i fogsandens övre 20 mm på permeabiliteten (Borgwardt, 2006).

5.3. OBUNDET BÄRLAGER OCH FÖRSTÄRKNINGSLAGER

Bärlager och förstärkningslager finns i alla vägöverbyggnader. Dessa lager ska fördela trafiklaster ned i underliggande lager under det att endast vissa acceptabla deformationer bildas. Därför måste lagren kunna packas och vara dränerande. Förstärkningslagret består av grovt material som i storlek får ha vidare toleranser i jämförelse med bärlager. I vanliga vägar behövs bärlager för att jämna av och täta ytan för nästkommande bundna lager. Avjämning är viktig för att det grövre materialet i förstärkningslagret annars skulle ge alltför ojämnt underlag och kräva mer bundet material för att säkerställa att erforderlig beläggningstjocklek uppnås över hela vägytan. Med tätning menas i detta sammanhang att den obundna ytan tätas så att inte ovanliggande material kan tränga ned i de hålrum som finns i förstärkningslagret. För att kunna packas väl måste materialet ha en max stenstorlek om ca halva skiktets tjocklek samt en gynnsam kornstorleksfördelning.

I perspektivet dränerande markstensbeläggningar framstår det som viktigt att noga överväga hur obundna bärlager ska vara sammansatta för att både täta mot ovanliggande sättsand och ge en dränerande funktion i skiktet. I en rapport från 1995 beskrivs ett försök med en helt öppen överbyggnad där kornstorleksfördelning 4-120 alternativt 10-110 använts (Wahlman och Stahle, 1995). Bärlagret och förstärkningslagret var dimensionerade som separata skikt med tjocklekarna 27 resp. 40 cm, men utfördes som ett lager varpå problem uppkom med jämnhet. Avsaknaden av finare material än 4 alt. 10 mm garanterade att materialet var permeabelt. Det ledde också till ett hålrum om 34 % ämnat att utgöra vattenmagasin. En intressant observation i ovan nämnda rapport var att omfattande byggtrafik skapade problem när låsningen i det packade materialet löstes upp. Detta åtgärdades genom att spraya bitumenemulsion på ytan.

I Storbritannien används kornfördelning mellan 5 och 20 mm som obundet bärlager/förstärkningslager i dränerande överbyggnader. Det bör påpekas att tillgången på bra obundna stenmaterial är begränsad i Storbritannien, vilket kan påverka materialvalet och lösningarna som väljs där. Det kan konstateras att avsevärt tjockare förstärkningslager rekommenderas i Storbritannien. För t.ex. parkeringsplaster rekommenderas vanligen 10 cm förstärkningslager (Interpave a 2005) medan för motsvarande dränerande överbyggnad rekommenderas 25 cm (Interpave 2008).

I Belgien har bärlager 2-20 och förstärkningslager 7-32 använts (Beeldens, 2006). I Beeldens (2009) kombinerades det även med att använda endast förstärkningslager med kornfördelningen 0-32.

5.3.1. FÖRSTÄRKNINGAR FÖR BÄTTRE BÄRIGHET

ICPI (2006) uppger att det obundna bärlagret och förstärkningslagret kan stabiliseras med hydrauliskt bundet lager för att förstärka konstruktionen strukturellt, till exempel genom att tillföra cement. Det kan anses nödvändigt för att få konstruktionen att klara av större trafikvolym och tunga laster men med konsekvensen att lagringskapaciteten av vatten kommer att reduceras. Det aktuella bindemedlet ska därför bara tillsättas för att täcka stenmaterialet för att behålla hålrum mellan stenarna. Vid användning av cement ska vatten-cement-talet (VCT) justeras för att göra en blandning som endast skapar ett täcke över gruset.

Även i Interpave (2008) införs hydrauliskt bundet för de högre kategorierna som definierar den förväntade trafikbelastningen som sägs stärka och göra konstruktionen styvare. I Interpave (2008) lyfts det också fram att ett lager med så kallad "dense bitumen macadam" (DBM) kan införas för skydda konstruktionen från byggtrafik men som även kan användas för förstärkning av hela konstruktionen. Lagret kan därefter finnas kvar hela livscykeln genom att hål stansas för att åstadkomma en tillräcklig dränerande förmåga. Det rekommenderas att hål med en diameter på 75 mm görs i ett rutnät med 750 mm mellan hålen. Hålen fylls därefter med samma material som förstärkningslagret. DBM-lagret kan då ersätta det hydrauliskt bundna lagret för anläggningar med högre trafikbelastningar och ge konstruktion tillräcklig stabilitet. Eftersom materialet har en liten lagringskapacitet blir det viktigt att de andra lagren kompenserar för detta. Beroende på trafikbelastning varierar lagrets tjocklek enligt tabell 3.

Tabell 3 : DBM-lagrets tjocklek beroende på den förväntade trafikmängden.

Miljoner standardaxlar	Tjocklek på DBM (mm)
< 1,5	130
1,5-4	145
4-8	170
8-12	185

I Omoto et al. (2003) undersöktes användningen av bitumenförstärkning genom att bärlagret (200mm) till övre hälften bestod av bitumenförstärkning (100mm), till undre hälften obundet stenmaterial (100mm). Det bitumenförstärkta bärlagret hade en permeabili-

tet på $>10^{-2}$ och porositet på $> 12 \%$. För att undersöka hur väl uppbyggnaden, med dränerande markstenar som bärlager, stod emot trafik, utfördes simuleringar av tung trafik på den samt för en konventionell uppbyggnad i jämförelsesyfte. Huvudsyftet med studien var dock att undersöka geotextilers påverkan på stabiliteten, varav simuleringarna även gjordes med och utan dessa mellan sättsanden och bärlagret. Resultaten visade att bitumenförstärkning tillsammans med användningen av geotextil bidrog till att reducera spårbildning i beläggningen, minska risken för att markstenen går sönder samt ökade den allmänna brukbarheten.

5.3.2. ÅTERVUNNET MATERIAL

Interpave (2008) anger att återvunnet material kan användas för bland annat förstärkningslagret. Men det bör dock beaktas att materialet kan vara av varierande kvalitet som kan ha inverkan på porositeten och därmed lagringskapaciteten. Till exempel om det till viss del består utav poröst material, så kan det krossas till mindre fraktioner vid byggprocessen eller på grund av trafikbelastningen som kan minska dräneringsförmågan.

5.4. SKYDDSLAGER

Vid användning av en konstruktion av typen att ingen infiltration sker till undergrunden, anger Interpave (2008) att ett skyddslager bör läggas mellan det impermeabla membranet och undergrunden. Det görs för att åstadkomma en stadig grund så att ovanliggande kan installeras korrekt och hjälper till att skydda membranet från punktering. Antingen kan ett finare material användas (6F1) eller ett aningen grövre (6F2) enligt klassifikationen i Highways Agency (2009). För den sistnämnda rekommenderas det att finare material ändå används för att skapa ett översta lager som skyddar det impermeabla membranet. Det anges att vanligtvis utnyttjas material som t ex. krossad betong eller restmaterial från stembrott till detta ändamål.

5.5. ÖVRIGA MATERIAL

5.5.1. GEOTEXTIL

Geotextil kan hjälpa till att hålla skikten separata och kan placeras både ovan och under förstärkningslagret i markstenskonstruktioner. De skikt som främst kan komma ifråga att separera är mellan terrass och förstärkningslager samt mellan sättsand och obundet bärlager. Den undre geotextilen är motiverad både ur miljö- och byggtekniska skäl. Geotextil under förstärkningslagret bör vara av kvalitet som motstår genomstansning av det grova, ofta kantiga, materialet vid tippning, packning och byggtrafik. Geotextil kan motiveras av miljöskäl då den i vissa sammanhang tros förstärka de positiva miljöeffekterna i form av nedbrytning av föroreningar, se avsnittet om miljöaspekter.

5.5.2. IMPERMEABLA MEMBRAN

Impermeabla membran kan användas för att fånga upp och avleda vatten. Krav på membran bör ställas utifrån konsekvenserna av läckage. Om konsekvenserna av läckage är begränsade och risken för sättningar liten kan möjligen membran av polyeten eller

polypropylen användas. Om t.ex. en närliggande vattentäkt riskerar förorenas bör istället duk av EPDM-gummi eller likvärdigt användas. Det är viktigt att beakta risken för genomstansning av membranet vid tippning och packning ifall grövre och kantigt förstärkningslagermaterial används.

5.5.3. ALTERNATIVA BELÄGGNINGSTYPER

Permeabel asfalt har förmågan att infiltrera vatten genom att en lägre andel finkornigt material används i blandningen med bitumen jämfört med den täta, konventionella asfalten. Det leder till att beläggningsen har 15-25 % hålrum som vattnet kan passera genom. I Bäckström(2000) anges permeabel asfalt ha en initial infiltrationsförmåga på $5 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^{-2}$ m/s.

Permeabel betong liknar den ovannämnda, alltså att permeabiliteten åstadkoms genom att grovkornigare material blandas med cement och vatten. Materialets porositet är vanligen i intervallet 15-22% (Debo 2003).

Vid lågt trafikerade parkeringar och vägar kan vanligt grus vara ett alternativ som ger infiltrerande egenskaper. I Ferguson (2005) anges permeabiliteten vara ungefär från $2 \cdot 10^{-6}$ m/s för tätare sand till 0,2 m/s för grus med kornstorlekar runt 25 mm.

6. UTFORMNING AV ANLÄGGNINGEN

Erfarenheter från tidigare projekt har visat att nyckeln till väl fungerande anläggningar under en längre tid, är att planering genomförs genomtänkt. En god kommunikation med anläggningens intressenter tidigt i planeringsskedet ger större möjligheter att utformningen blir anpassad till framtida bruk (Interpave 2010). Målsättningen med ombyggnaden och de aspekter som tas i planeringen måste beaktas i sin helhet för att kunna avgöra hur planmässigt dispositionen av ytor, hydrologi, trafikering och flöden, estetisk utformning m.m. ska leda fram till en väl avvägd teknisk lösning.

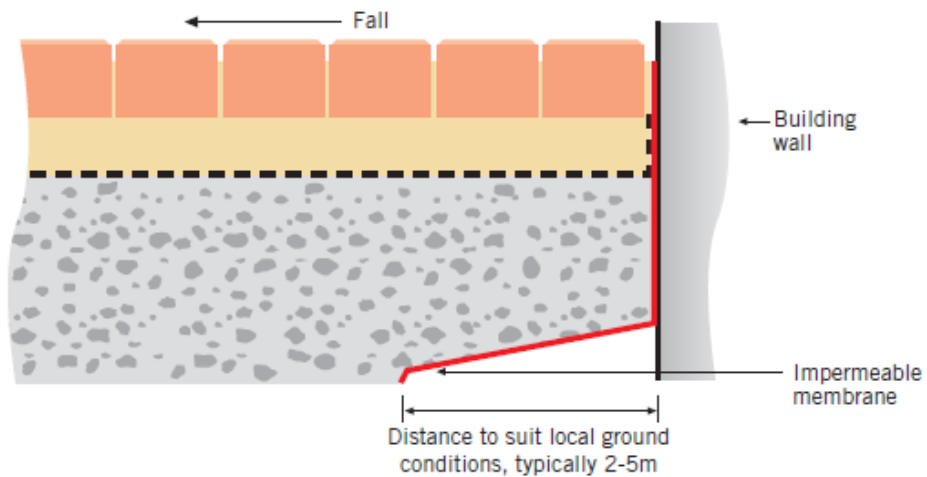
Det är det inte nödvändigt att alla ytor är permeabla, utan vissa delar kan vara impermeabla med exempelvis konventionell asfalt. Genom att ha satt sig in i hur framtida bruk kan bli, kan blandat annat rörelsemönster för fordon och fotgängare förutsägas beroende på till exempel infarter och serviceanläggningars placering. I fall användningen koncentreras till vissa stråk leder detta till ökad risk för att smuts och partiklar som minskar beläggningens permeabilitet. Då kan de ytorna istället beläggas med impermeabla beläggningstyper för att öka den funktionella livslängden. Denna princip kan även följas för de ytor där tunga fordon förväntas trafikera. Det eftersom det annars finns risk för att markstenarna går sönder och att konstruktionen blir stabilare när mängden vatten minskar i underbyggnaden Ytterligare ett användningsområde är de platser där det finns risk för utsläpp av föroreningar som inte kan renas naturligt. Genom användning av permeabel beläggning minskas infiltration till underbyggnaden och ett system för att hantering av ytavrinningen kan installeras. Om markstenar med perkolationsöppningar mellan stenarna används, anger ICPI (2006) att solida stenar ger bättre handikappanpassning och att det blir mer komfortabelt för fotgängare (med exempelvis högklackade skor). Principen kan även användas i estetiskt syfte och för att få användarna att bete sig på ett önskvärt sätt, till exempel ur säkerhetssynpunkt leda fotgängare till ett visst stråk för att minska risken för olyckor med fordonstrafik.

Lämplighet och val av platsen bör också utvärderas med hänsyn till:

- Om det finns närliggande vattendrag. Det rekommenderas bland annat i ICPI (2006) att anläggningen bör ligga åtminstone 30 m ifrån dammar, våtmarker och bäckar.
- Vidare bör det tas hänsyn till risken för nedsmutsning, till exempel anläggningar där det ankommer transporter av jord. Vidare kan vind- eller vattenerosion ge upphov till att grus och jord förs in till anläggningen. Det kan uppkomma om den ligger nära en strand eller öppet torrt jordbruksfält eller om ytan översvämmas från intilliggande dåligt bundna jorder. Så kallade *silt fences* används i bland annat Nordamerika för att skydda vattenområden från sediment, som kan vara ett alternativ för att skydda anläggningen.

Vid utformningen bör det även tas hänsyn till byggnader vid platsen även om rekommendationerna varierar i litteraturen. Debo (2003) rekommenderar att permeabla beläggningar inte bör ligga närmre än ca 3 m från byggnader. I Interpave (2010) nämns det att brittiska byggnadsregler gällande avstånd mellan byggnader och infiltrationsanordningar inte gäller permeabla beläggningar eftersom infiltrationen inte är koncentrerad till en punkt. Det gör att det liknar naturlig vegetation som till exempel gräs och rabatter. Däremot om stuprör dräneras till den permeabla beläggningen bör utflödet vara

på tillräckligt avstånd från byggnaden för att inte destabilisera byggnaden eller skapa onödigt tryck mot grunden. Men det uppges även att vattnet sprids ut mer så att vattenkoncentrationen blir lägre än för traditionella stenbäddar. I figur 6 visas en skiss på hur utformningen kan vara närmast grunden för att skydda byggnaden. Enligt Interpave (2008) infinner inte detta problem vid konstruktioner med ingen infiltration, vilket medför att den typkonstruktionen kan vara lämplig vid platser där det finns byggnader som behövs skyddas.



Figur 6: Bilden visar hur ett impermeabelt membran kan installeras närmast grunden och hur vattnet kan dräneras bort från byggnaden (Interpave 2010).

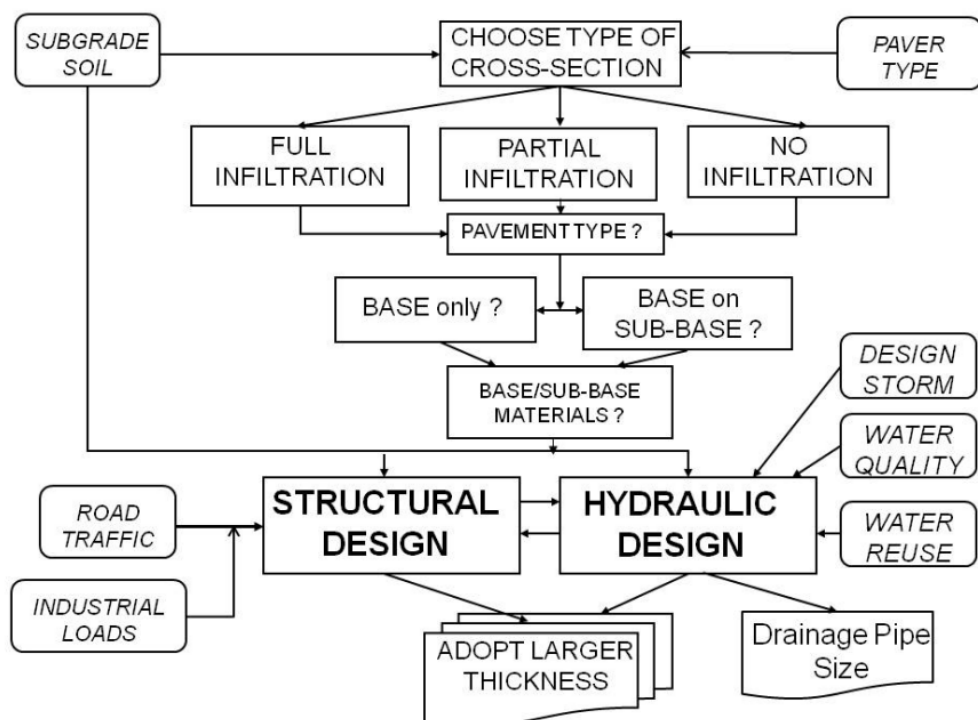
7. DIMENSIONERING

Dimensioneringen av överbyggnaden syftar till att utforma konstruktionen på sådant sätt den får tillräckligt strukturell styrka för att klara av det tilltänkta användningsområdet samtidigt som den får tillräcklig dränerande förmåga. Dimensioneringsprocessen kan därmed delars in i två delar, strukturell respektive hydraulisk dimensionering. Tillvägagångssättet bör dock vara att dimensioneringarna sker parallellt för att uppfylla båda kraven, samtidigt som livscykelkostnaderna minimeras. Det finns även fler mål som kan eftersträvas vid dimensioneringen. I Shackel (2008) rekommenderas det att ett eller flera av följande mål eftersträvas:

- Reducering av risken för översvämningar genom lagring eller retention av regnvatten
- Ökning vattenkvalitén genom filtrering eller retention
- Återanvändning av regnvattnet genom lagring av regnvatten
- En konstruktion som ger tillräcklig bärigheten för att klara av trafiken

Shackel (2008) menar att för att uppnå de satta målen bör följande frågor besvaras under dimensioneringsprocessen.

1. Hur långa är den tekniska livscykeln för konstruktionen?
2. I vilken takt kan beläggningen ta hand om nederbörden. Den beror på beläggningens infiltrationsförmåga som i sin tur beror på typ av marksten, lutningen, fog- och sättsand, material i underbyggnaden, förhållandet mellan yta av marksten och fog etc.
3. Hur snabbt kan konstruktionen dräneras? Dräneringsförmågan blir en funktion av till exempel bär- och förstärkningslager, terrassen konduktivitet, eventuellt dräneringssystem samt grundvattennivån.
4. Hur stor är underbyggnadens kapacitet för att lagra vatten? Kapaciteteten beror på dess tjocklek och permeabilitet.
5. Hur tjock bör beläggningen vara att bära trafiken?



Figur 7: Integrerad design av dränerande markstensbeläggningar. Schackel (2008)

7.1. STRUKTURELL DIMENSIONERING

Den strukturella dimensioneringen syftar till att utforma överbyggnaden på ett sådant sätt att ytan kan behålla sin jämnhet över hela livscykeln trots påverkan av trafikens belastningar och samtidig inverkan från klimatet och undergrunden. Generellt omfattar dimensionering att ta hänsyn till följande:

- Anläggningens användningsområde och den förväntade trafikbelastningen
- Funktion som eftersträvas under drifttiden, t.ex. jämnhet, friktion, visuellt intryck
- Skador som kan uppkomma
- Yttre faktorer som ger upphov till skador (trafik, nederbörd, temperatur)
- Inre faktorer i konstruktionen som påverkar tillståndet (undergrundsmaterial, material, packning, dränering)
- Kostnader förknippade med byggande och underhåll
- Olika förstärkningsåtgärder som kan förbättra bärigheten (bitumenförstärkt bärlager, hydrauliskt bundet lager, Dense Bitumen Macadam)

7.1.1. DIMENSIONERING FÖR KONVENTIONELLA MARKSTENAR

Dimensionering av konventionella markstensöverbyggnader behandlas i skriften "Beläggningar med plattor och marksten av betong – Projekteringsanvisningar och rekommendationer" (Svensk markbetong 1999), som finns implementerade i ett beräkningsverktyg på webben (Svensk markbetong, 2011). Underlaget till dimensioneringsförfarandet utgörs av en rapport från KTH (Silfwerbrand 1999). Denna procedur är framtagen för impermeabla beläggningar och gäller således inte för dränerande beläggningar.

7.1.2. DIMENSIONERING FÖR DRÄNERANDE MARKSTENAR

Ovanstående rekommendationer är framtagna utan hänsyn till de större vattenmängder, andra materialval och tjocklekar som dränerande konstruktioner innehar. Nedan redovisas även trafikdimensioneringsprinciper enligt Interpave (2008) och ICPI (2006), vilka är anpassade med åtanke på förhållandet att underbyggnaden innehåller större andel vatten.

I ICPI (2006) redovisas en matris för dimensionering av bär- och förstärkningslager beroende på trafikbelastning och terrassens jordart. I tabell 4 har endast de kolumner som behandlar områden med tjäle valts ut eftersom det är mest intressant för svenska förhållanden. Det första värdet anger bärlagrets tjocklek i millimeter och det andra anger förstärkningslagrets tjocklek. "Förstärk terrassen" innebär att förstärkningsåtgärder på terrassen måste utföras.

Tabell 4: Rekommenderad tjocklek (mm) på bär- och förstärkningslager beroende på trafikvolym och terrassens jordmån (ICPI, 2006).

ESAL	Grusiga jordar	Lerigt grus/sandig lera	Siltig grus/sandig lera	Silt, siltig lera
Gång och cykel	100 150	100 150	100 150	100 150
50000	100 200	100 200	100 200	Förstärk terrassen
150000	100 200	100 200	100 250	Förstärk terrassen
600000	100 200	100 350	100 450	Förstärk terrassen

Även i Interpave (2008) har rekommendationer för överbyggnadens lagertjocklekar tagits fram men som istället baseras terrassens California Bearing Ratio (CBR) och trafikmängden. I tabell 5 redovisas först typiska CBR-värden för olika jordarter enligt (Interpave, 2008). I tabell 6 redovisas de rekommenderade tjocklekarna på lagren baserat på trafikmängden (Miljoner ekvivalenta standardaxlar) och undergrundens CBR-värde. Där HBL står för hydrauliskt bundet lager som tillförs som bärlager vid högre trafikbelastningar, FL är förstärkningslagret och SL är skyddslagret. Skyddslagret införs endast vid typkonstruktioner utan infiltration till undergrunden för att skydda det impermeabla membranet.

Tabell 5: Typiska CBR-värden för olika jordarter.

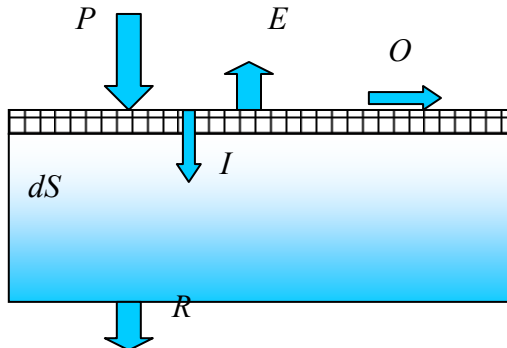
Jordart	CBR
tung lera	2-3
siltig lera	4
sandig lera	5
silt	1
dålig graderad sand	20
god graderad sand	40
väl graderad sandig grus	60

Tabell 6: Dimensioneringsmatris för trafikbelastning och terrassens CBR-värde.

N100	California Bearing Ratio (CBR)				
	15-5 %	4 %	3 %	2 %	1 %
0	HBL: 0 mm FL: 250 mm (SL: 150 mm)	HBL: 0 mm FL: 350 mm (SL: 200 mm)	HBL: 0 mm FL: 375 mm (SL: 250mm)	HBL: 0 mm FL: 425 mm (SL: 350 mm)	HBL: 0 mm FL: 550 mm (SL: 600 mm)
0,0001	HBL: 0 mm FL: 350 mm (SL: 150 mm)	HBL: 0 mm FL: 450 mm (SL: 200 mm)	HBL: 0 mm FL: 475 mm (SL: 250 mm)	HBL: 0 mm FL: 525 mm (SL: 350 mm)	HBL: 0 mm FL: 650 mm (SL: 600 mm)
0,015	HBL: 125 mm FL: 150 mm (SL: 150 mm)	HBL: 125 mm FL: 250 mm (SL: 200 mm)	HBL: 125 mm FL: 275 mm (SL: 250 mm)	HBL: 125 mm FL: 325 mm (SL: 350 mm)	HBL: 125 mm FL: 450 mm (SL: 600 mm)
0,15	HBL: 150 mm FL: 150 mm (SL: 150 mm)	HBL: 150 mm FL: 250 mm (SL: 200 mm)	HBL: 150 mm FL: 275 mm (SL: 250 mm)	HBL: 150 mm FL: 325 mm (SL: 350 mm)	HBL: 150 mm FL: 450 mm (SL: 600 mm)
1,5	HBL: 200 mm FL: 150 mm (SL: 150mm)	HBL: 200 mm FL: 250 mm (SL: 200 mm)	HBL: 200 mm FL: 275 mm (SL: 250 mm)	HBL: 200 mm FL: 325 mm (SL: 350 mm)	HBL: 200 mm FL: 450 mm (SL: 600 mm)
15	HBL: 300 mm FL: 150 mm (SL: 150 mm)	HBL: 300 mm FL: 250 mm (SL: 200 mm)	HBL: 300 mm FL: 275 mm (SL: 250 mm)	HBL: 300 mm FL: 325 mm (SL: 350 mm)	HBL: 300 mm FL: 450 mm (SL: 600 mm)

7.2. HYDRAULISK DIMENSIONERING

7.2.1. HYDROLOGISKA OCH HYDRAULISKA PROCESSER



Figur 8: En förenklad markstensöverbyggnad där pilarna markerar olika vattenflöden relaterade till konstruktionen.

De hydrologiska processer som är relevanta för konstruktioner med dränerande marksten sammanfattas bäst genom en vattenbalansekvation

$$P = E + O + G + dS \quad (1)$$

där P (Precipitation) står för nederbörd, E (Evapotranspiration) betecknar avdunstning, O (Overland flow) står för ytavrinning, G (Ground water recharge) representerar grundvattenbildning och dS (dStorage) representerar förändring i det aktuella vattenmagasinet, vilket i det här fallet är vattenhalten i överbyggnaden på en markstenskonstruktion. I de fall man inte vill att regnvattnet ska nå grundvattnet och istället leder det infiltrerade vattnet till en dräneringsledning ersätts grundvattenbildningen i ekvationen med dränerat vatten. En konsekvens av ekvationen är att nederbörd är den enda källan till en ökad vattenhalt i konstruktionen. Hur vattenhalten i överbyggnaden utvecklas bestäms av infiltration av vatten genom markstenslagret (process I i Figur 8), avdunstning från konstruktionen, ytavrinning och grundvattenbildning. För vissa placeringar i landskapet kan man även få inströmning av grundvatten i konstruktionen vilket tenderar att skapa stora problem. I det här sammanhanget har vi dock valt att utelämna grundvattenproblematiken då en hantering av denna fråga kräver en hel del information om omgivningen vilket bedöms ligga utanför denna rapportens omfattning.

Ytavrinning och infiltration

Det vatten som hamnar på markstenskonstruktionen kan rinna direkt av ytan ut i ett dike, en dräneringsledning eller liknande. Detta är fallet för exempelvis vanliga asfaltvägar. Vattenflödet parallellt med markytan kallas ofta ytavrinning och hur betydelsefull denna är beror dels på infiltrationskapaciteten i markstenslagret och dels på karaktären på markstenslagrets yta samt dess lutning. Vad gäller infiltrationskapaciteten för ett markstenslager kontrolleras den till allra största del av fogarnas beskaffenhet; hur stor andel av ytan som utgörs av fogar (ref), vilket material som har använts (ref) och hur hårt det packats (ref ang packning o konduktivitet). Det finns dock exempel där även själva markstenen är porös vilket i förekommande fall bidrar till att öka infiltrationska-

paciteten. Med andra ord kan man genom att variera typ av markstensbeläggning och materialegenskaper men också ytans lutning styra hur mycket vatten som rinner av konstruktionen och hur mycket som rinner in i densamma. Dessa faktorer är avgörande för en dränerande markstensbeläggnings funktion. I vissa fall utformas en permeabel markstensyta så att den även ska ta om hand vatten som rinner av närliggande hårdgjorda ytor. Då måste den permeabla beläggningsen ta emot olika stora delar av detta vatten, mest i den del av beläggningsen som ligger närmast den hårdgjorda ytan och gradvis mindre då avståndet ökar. Vid kraftiga regn är det möjligt att infiltrationskapaciteten överskrider i dessa delar vilket leder till en ökad ytavrinning i riktning mot den permeabla ytans lägre delar där vattnet förhoppningsvis infiltrerar istället.

Borgwardt (2006) visade att kvoten mellan fogarean och markstensarean har en stor betydelse för en markstenbeläggnings infiltrationskapacitet. Dock avtar styrkan i detta samband med tiden i takt med att fogarna sätts igen av finmaterial. Icke desto mindre är det inte orimligt att anta att den sammanlagda hydrauliska konduktiviteten hos markstenslagret (fog + sten) kan uppskattas baserat på detta faktum. Om fogarean som exempel utgör 10 % av den totala markytan bör den sammanlagda konduktiviteten vara $0.1 \cdot$ fogmaterialets konduktivitet, eller något större pga. de stora porer som bildas längs markstenskanterna. Det finns alltid en möjlighet att ta hänsyn till igensättning genom att reducera fogmaterialets konduktivitet med en igensättningsfaktor mellan 0 och 1. Borgwardt (2006) betonar dock att vikten bör läggas på att välja ett bra fogmaterial, dvs ett grovt material, snarare än att finjustera fogbredder. I de fall ett synnerligen grovt fogmaterial används kan möjligen den så kallade parallellplatt-modellen användas för att uppskatta den sammanlagda hydrauliska konduktiviteten. Modellen används för att beräkna konduktiviteten i sprickigt berg enligt följande

$$K_p = \frac{(2b)^3}{2B} \cdot \frac{\rho_w g}{12\mu}$$

där $2b$ är fogens bredd, $2B$ är avståndet mellan fogarna (dvs. stenens bredd eller längd) och μ är den dynamiska viskositeten ($= 1.00 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ vid 20°C). För att modellen ska vara tillämpbar krävs fogar av identisk och konstant bredd.

Avdunstning

Avdunstning är en relativt komplicerad process som beror av ett flertal faktorer och inte enbart inskränker sig till vattenbalanskvationen. Avdunstning ingår i den klassiska energibalanskvationen för en yta vilket innebär att den beror både av atmosfärs- och markförhållanden. Exempelvis är luftfuktighet och vindstyrka viktiga drivvariabler, men hur stor avdunstningen blir beror också på hur fuktig marken är och tillgången på energi i form av kort- och långvågstrålning då det åtgår mycket energi för att förångna vatten. Det är också detta som gör att parkmiljöer och liknande där avdunstning förekommer är betydligt svalare än den omgivande gatumiljön (Jansson 2006).

Perkolation och vattenflöde inom konstruktionen

Det vertikala och horisontella vattenflödet genom konstruktionen kan beskrivas mha Richards ekvation (1931). Denna kan även användas för att beräkna infiltrationsförlop-

pet vid markytan. I Richards ekvation är det skillnader i hydraulisk höjd (potential) som utgör drivkraften för vattenflöde genom det vattenomättade materialet. Hur stort det verkliga blir avgörs slutligen av den omättade hydrauliska konduktiviteten. I de fall mättade förhållanden infinner sig i konstruktionen beskrivs dessa genom Darcy's lag. De hydrauliska egenskaper som är av vikt är vattenretentionskurvan (vatteninnehåll som funktion av luftövertryck) och den omättade hydrauliska konduktiviteten.

7.2.2. KONSTRUKTIONSDELARNAS INVERKAN PÅ HYDROLOGI/HYDRAULIK

Igensättning

Vanligen lyfts fastläggning av finare partiklar i konstruktionen fram som en positiv effekt vilket det givetvis är ur en miljösynpunkt eftersom partikelbundna föroreningar genom denna mekanism fastläggs i konstruktionen istället för att nå t.ex. ytvatten eller reningsverk. Däremot gör detta att den hydrauliska konduktiviteten minskar med tiden vilket i sin tur leder till att infiltrationen avtar. Borgwardt (2006) genomförde experiment där det visades hur kornstorleksfördelningen förskjutits åt det finare hållet i de översta 20 mm av fogen jämfört med de underliggande nivåerna, och att den ökade viktandelen små partiklar (< 63 µm) minskat den mättade hydrauliska konduktiviteten avsevärt. I det redovisade exemplet ökade andelen fina partiklar från 3,2 mass-% till ca 25 mass-%, vilket gav en minskning av den hydrauliska konduktiviteten från $4 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ till $3,3 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$ – enbart en tiondel av den ursprungliga kapaciteten.

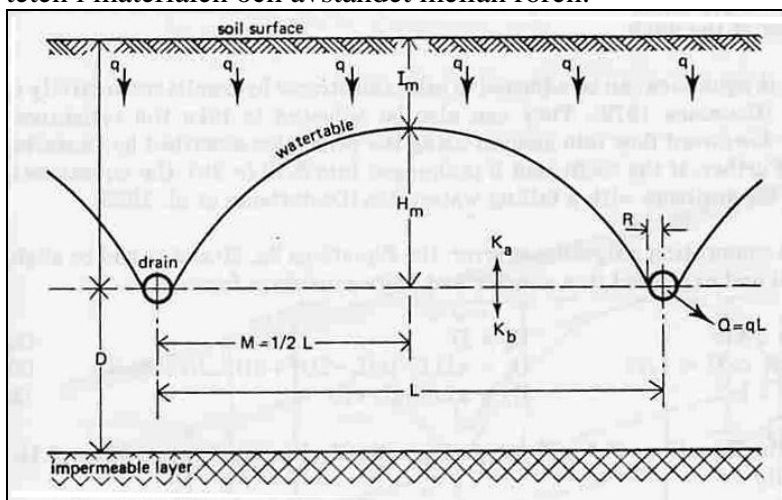
Avledning av vatten

Avledning av vatten kan utföras med hjälp av öppna diken eller dräneringsrör. Syftet med avledningen är att kontrollera grundvattennivån så att den inte överstiger det acceptabla. Under grundvattenytan, i den vattenmättade zonen, finns ingen luft i porerna och därmed inga ytspänningskrafter och vattnet (ibland kallat fritt vatten) kan då utan svårighet strömma från det porösa materialet till ett rör eller dike. I den vattenomättade zonen har avledningen av vatten däremot en försumbar funktion. Grundvattenytan sänks i riktning mot dräneringsröret och precis vid röret ligger den vid jämvikt i rörets underkant. Eftersom grundvattenytan stiger med avståndet från röret kan det vara viktigt att lägga ner flera parallella rör för att kontrollera grundvattenytan högsta läge i ett större område. Ett användbart matematiskt samband i sammanhanget är Hooghoudts (1940) ekvation:

$$q = \frac{8H_m}{L^2} \cdot (K_b D_e + K_a H_a)$$

där q är tillflödet av vatten (efter regn) ovanifrån, H_m är grundvattenytans nivå mitt emellan rören relativt rörens mittpunkt (grundvattenytans maximala höjd), L är avståndet mellan dräneringsrören, K_b är den mättade hydrauliska konduktiviteten under dräneringsrören, D_e är Hooghoudts ekvivalenta djup, K_a är den hydrauliska konduktiviteten ovan dräneringsnivån, och $H_a = H_m / 2$ är grundvattenytans relativa medelhöjd mellan dräneringsrören (figur 9). Genom att ansätta ett dimensionerande inflöde av vatten kan man genom denna ekvation uppskatta ett acceptabelt maxavstånd mellan rör för att det maximalt tillåtna grundvattenståndet inte ska överskridas. Ur ekvationen kan det utläsas

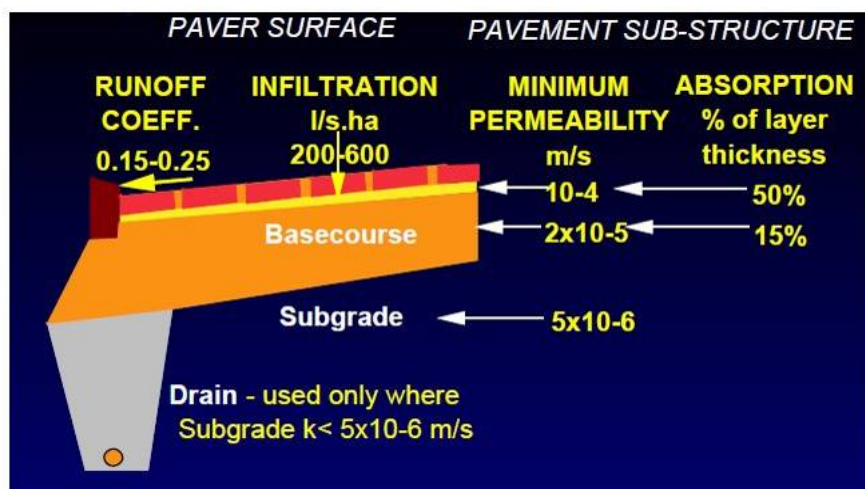
att de styrande variablerna är mängden infiltrerande vatten, den hydrauliska konduktiviteten i materialen och avståndet mellan rören.



Figur 9. Grundvattenyta mellan två parallella rör (från R.J. Oosterbaan).

7.2.3. DIMENSIONERING MED HÄNSYN TILL VATTEN

Vid dimensioneringen bestäms vilken typ av konstruktion som är lämplig och de materialegenskaper och lagertjocklekar som är nödvändiga för en god funktion beräknas. I detta kapitel fokuserar vi enbart på de hydrauliska kraven. Ett exempel på typvärden för en sektion med dränerande markstensbeläggning visas i figur 10. Om istället konceptet med olika typkonstruktion används måste kraven anpassas till respektive konstruktion.



Figur 10. Typiska krav och designparametrar för en sorts dränerande marksten.

7.2.4. VAL AV TYPKONSTRUKTION

I Interpave (2008) rekommenderas att beslut om typkonstruktion fattas utifrån tre kriterier relaterade till marken som ska bebyggas: den hydrauliska konduktiviteten i marken,

grundvattenytans nivå och eventuell förekomst av föroreningar i marken (tabell 8). I tabell 7 redovisas den hydrauliska konduktiviteten för olika jordarter.

Tabell 7. Permeabiliteten för morän- och sedimentjordar (Larsson, 2008)

Jordart	Permeabilitet	Jordart	Permeabilitet
Moräner		Sediment	
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	$< 10^{-9}$

Om den hydrauliska konduktiviteten i marken är så låg att marken inte kan ta emot de vattenmängder som perkolerar ner genom konstruktionen måste någon typ av dränering införas för att undvika högt stående vatten inuti konstruktionen. Valet faller då på typ B för mer genomsläppliga material, eller typ C för täta markmaterial som leror. Om grundvattenytan ligger en god bit under konstruktionen, finns det en möjlighet att filtrera vissa typer av föroreningar innan dessa når grundvattnet, och risken för ett minskat magasin inuti konstruktionen p.g.a. högt stående grundvatten minskas. Vidare finns det ofta anledning att undvika vattenflöden genom förorenad mark eftersom det kan leda till att de förekommande föroreningarna sprids och i dessa fall bör en helt tät konstruktion (typ C) väljas.

Tabell 8. Riktlinjer för val av typkonstruktion (bra = +, dålig = -)

		Typ A	Typ B	Typ C
Mättad hydraulisk konduktivitet i marken, K_s (m/s)	$10^{-6} - 10^{-3}$	+	+	+
	$10^{-8} - 10^{-6}$	-	+	+
	$10^{-10} - 10^{-8}$	-	-	+
Högsta grundvattennivå mindre än 1 m under terrass.		-	-	+
Föroreningar förekommer i marken		-	-	+

I Debo (2003) rekommenderas det att en geoteknisk undersökning bör utföras före planeringen av anläggningens utformning. Provtagningar bör göras för att klassificera jordarten, avgöra om det finns impermeabla underliggande lager, grundvattnets nivå samt för att uppskatta permeabiliteten. Provboringarna bör åtminstone gå ner till 1-1,5 m under den förväntade underkanten av förstärkningslagret. Dessa bör göras för varje 5000 kvadratmeter stor yta med ett minimum på tre stycken per anläggning. Av säkerhetsskäl rekommenderas det att halva den uppskattade permeabiliteten används för att ta hänsyn till variationer i underjorden och osäkerheter i mätningen.

7.2.5 RÅD GÄLLANDE YTANS INFILTRATIONSKAPACITET

Ytans primära funktion är att släppa igenom en lagom (men stor) mängd av det regn som faller på ytan samtidigt som den ska vara farbar.

Eftersom en av de största fördelarna med markstensbeläggningar är att de släpper igenom vatten och på så vis ger ett antal miljöfördelar är ytans egenskaper av största vikt. Som nämnts ovan är en av de mer centrala egenskaperna att infiltrationskapaciteten minskar med tiden. Exempelvis visar Borgwardt (2006) att porer i markstenar och fogar relativt snabbt sätts igen av finmaterial. Borgwardt visar också att permeabiliteten avtar snabbt under de första åren för att sedan närma sig ett asymptotiskt värde. Vad gäller betydelsen av förhållandet mellan fog- och stenarea (andel öppen beläggning) hävdar Borgwardt (2006) med anledning av detta att det endast finns ett begränsat samband mellan andelen öppen beläggning och infiltrationskapaciteten sett över konstruktionens livslängd. En matematisk beräkning av infiltrationskapaciteten baserad på andel öppen beläggning och permeabilitetskoefficienter är därför av begränsat värde om inte hänsyn också tas till den tidsberoende igensättningen. Därför är fogsandens permeabilitet mycket viktigare än vad den teoretiska bedömningen ger, där andel öppen beläggning får oproportionellt stor vikt. Den avtagande infiltrationskapaciteten bekräftas även i Permeable Pavements Design (Interpave, 2008) där det rekommenderas att från början räkna med en nedsättning av infiltrationskapaciteten till 10% av den ursprungliga.

7.2.6 DIMENSIONERING FÖR MAGASINERING I FÖRSTÄRKNINGS-LAGRET

Förstärkningslagrets primära funktion är att fungera som ett utjämningsmagasin för det infiltrerande regnvattnet, dvs det ska dämpa och fördröja den del av regnpulsen som infiltrerar i lagret och därigenom efterlikna ett naturligt system vilket antas ge ett antal miljöfördelar.

Beeldens m fl (2006) visade i ett pilotförsök att utflödet från en anläggning med dränerande marksten aldrig översteg 10 % av den motsvarande regnintensiteten för ett 15-årsregn vilket på denna plats motsvarade 25 mm regn på två och en halvtimme. I detta försök noterades inte heller någon ytavrinning i samband med detta regn.

Det första steget i detta delmoment av dimensioneringen är att ta in information om hur stora regnmängder konstruktionen bör kunna hantera. I enlighet med samhällets gängse normer för hydrauliska konstruktioner är det inte realistiskt att hantera hur stora vattenmängder som helst, utan en avvägning måste göras mellan kostnad och nytta där en viss sannolikhet för problem (i detta fall troligen vatten stående på markstensytan) anses vara acceptabel. I Storbritannien har man valt att som bas för analysen använda 60-minuters regn med 5 års återkomsttid. Dessutom har man studerat kvoten mellan 60-minuters respektive 2-dagars regn med 5 års återkomsttid – en stor skillnad leder då till krav på större magasineringmöjligheter. HR Wallingford (ungefär Storbritanniens motsvarighet till SMHI) presenterar detta datamaterial i form av en kartbild uppdelad i åtta kategorier. I Sverige har SMHI presenterat liknande information, dock utan att beakta skillnaden mellan entimmes och 48-timmars regn. I Storbritannien ger ett 60-minuters regn med 5 års återkomsttid mellan 14 och 20 mm, i Sverige mellan 15 och 25 mm, med

några undantag både nedåt och uppåt (Figur 8). Mängderna är med andra ord jämförbara för dessa regn. Vid själva dimensioneringen tar man däremot hänsyn till regn med betydligt längre återkomsttid. I Interpave (2008) ges tabulerade värden på 30-årsregn, 100-årsregn samt 100-årsregn med ett påslag av 20 % p.g.a. förväntade klimatförändringar. Vad gäller svenska statliga vägar ska en dagvattenledning i anslutning till väg dimensioneras för regn med minst ett till tio års återkomsttid beroende på platsens karaktär; om det är stadsmiljö eller ej, och om dagvatten genom självfall kan rinna på vägytan från platsen eller ej (VVMB 310, Hydraulisk dimensionering). För en ”instängd plats i stadsmiljö” gäller 10 års återkomsttid.

Vid beräkning av nederbördsintensiteter i Sverige refereras ofta till Dahlström (1979) vilken beskriver den regionala fördelningen av nederbördsintensitet i Sverige utifrån mätdata från 1931 till 1960. Grunden i det arbetet är den så kallade Z -parametern som varierar stort inom landet och presenterades i form av en landstäckande kartbild. Genom att stoppa in lämpligt Z i följande ekvation,

$$F(x, T, Z) = [A(T) + Z \cdot B(T)] \cdot C(x) \cdot x^b$$

$F(x, T, Z) = A(T) + Z \cdot B(T) \cdot C(x) \cdot x^b$ där x betecknar regnets varaktighet i timmar och T betecknar

regnets återkomsttid i månader kan dimensionerande regnintensiteter, F (mm/h), erhållas för godtycklig plats i Sverige. Vidare gäller följande:

$$A(T) = 1,7T^{0,47} - \frac{1}{T}$$

$$B(T) = 0,32 - \frac{0,72}{T + 3}$$

$$C(x) = 1 + 0,1 \cdot \frac{x - 0,167}{|x - 0,167| + 0,01}$$

$$b = -0,72$$

Detta har varit en populär metod i Sverige och den har till viss del omarbetats under senare år av Hernebring (2006) och Dahlström själv (2006) som återigen beräknade Z -faktorn men denna gång användes nederbördsdata från 1971 till 2000. Noterbart är att Dahlström (2006) fann att den stora regionala skillnad i nederbördsintensitet som fanns mellan 1931 och 1960 inte fanns i samma utsträckning mellan 1971 och 2000. Dahlström (2006) valde därför att utelämna Z -faktorn och istället för hela landet kalibrera följande termodynamiskt baserad universalekvation där regnintensiteten, R , uttryckt i $l s^{-1} ha^{-1}$ enbart beror av återkomsttid och varaktighet:

$$R = 200T^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{\ln \Delta t}{\Delta t}$$

där Δt är varaktigheten mätt i minuter. Ekvationen är giltig för återkomsttider mellan ett och tio år och varaktigheter mellan 5 minuter och 96 timmar. Väljer man då att dimensionera för 60-minuters regn med 10 års återkomsttid erhålls för exemplet Stockholm en regnintensitet på 24 mm/h, både med den nya och den gamla ekvationen. Eftersom vi studerar ett 60-minuters regn, innebär detta att den sammanlagda volym som måste hanteras är 24 mm. Om vi antar en porositet i förstärkningslagret på 0,3 krävs ett 79 mm tjockt förstärkningslager för att lagra denna volym, förutsatt att lagret är snustorrt då infiltrationen påbörjas vilket i praktiken aldrig är fallet. Det är därför rimligt att öka tjockleken på konstruktionen så att hänsyn tas till detta i efterhand, alternativt kan porositeten ersättas med lufthalt i beräkningen ovan. Emellertid kommer sannolikt inte allt detta vatten att lagras i konstruktionen under hela regntillfället. Beroende på överbyggnadsmaterialets hydrauliska egenskaper och tjocklek kan dräneringen hinna påbörjas under tiden vilket minskar kravet på tjocklek för magasinering. För avancerade beräkningar kan det vara en god idé att ta hjälp av ett lämpligt datorprogram.

På grund av det sätt genom vilket dimensionerande regn beräknas (baserade på en tidsrymd som är relativt kort i förhållande till perioden på klimatsystemets cykler) kommer exempelvis ett 10-årsregn alltid att ändras beroende på det underlag som använts vid framtagandet. Därför kan det i dagsläget vara klokt att beräkna dimensionerande regn enligt Dahlström (1979) och Dahlström (2006) och sedan välja det största värdet. Förutom de osäkerheter de naturliga variationer som finns i systemet ger förväntas den antropogena påverkan på klimatet leda till fler häftiga skyfall i framtiden. Som nämnts ovan föreslås i Interpave (2008) en addition av 20% till de dimensionerande regn som beräknas baserade på dagens statistik. I Sverige finns exempelvis i Vägverket (2008) en Sverigekarta från vilken en motsvarande faktor kan avläsas för att sedan multipliceras med dagens dimensionerande flöden. Detta förväntas ge en framtidssäkrad dimensionering.

Vid dimensioneringen måste också närliggande ytor beaktas. Det är tämligen vanligt att ytavrinning från icke-permeabla ytor avleds till permeabla ytor vilket innebär att det erforderliga magasinet i sådana fall måste utökas linjärt i motsvarande grad. Med andra ord, om en del permeabel yta även ska ta hand om ytavrinningen från två delar icke-permeabel yta måste magasineringen vara tre gånger så stor, dvs överbyggnaden tre gånger så tjock. I Interpave (2008) rekommenderas att kvoten icke-permeabel till permeabel yta är mindre än 2. I de fall systemet lutar måste detta tas hänsyn till eftersom magasinspotentialen då minskas. Vid större marklutning kan terrassering eller fördröjningsväggar vara en god idé.

7.3. LUTANDE SYSTEM

Lagringskapaciteten minskar i ett lutande system vilket måste beaktas vid dimensioneringen eftersom det lagrade vattnets högsta nivå når sättsanden vid lägre volym (Interpave, 2008). En viss lutning är dock rekommenderad för att exempelvis vatten ska rinna av ytan vid vintertid. I ICPI, 2006 anges att lämplig lutning är inom intervallet 1-5 %.

Omgivande landytor och impermeabla beläggningar som dräneras till den permeabla delen bör inte ha en lutning som överskrider 20 %.

I Interpave(2008) presenteras olika lösningar som kan användas om den permeabla ytan har en lutning som är större än 5 %:

- Öka tjockleken på förstärkningslagret för att kompensera för lutande systems minskade volym.
- Om möjligt bygga med terrasser, där varje terrass yta är plan och har en egen underbyggnad. Mellan terrasserna kan dräneringsrör installeras.
- Avskilj ytan med en damm genom hela underbyggnaden. I dammen installeras rör som med ett dimensionerat flöde distribuerar vattnet till var sida av dammen för att optimera lagringsvolymen.
- Installera plastbehållare i nederkanten av platsen som ökar lagringskapaciteten.

eräkningar för att utvärdera om problem kan finnas, val av lämplig lösning och dess utformning kan göras med till exempel geo- och trigonometriska samband.

7.4 DATORPROGRAM

Det finns ett stort antal program som lämpar sig för användning i sammanhang som detta även om de inte är skraddarsyddas just för denna tillämpning. Beroende på användarkrav kan ett sådant relativt enkelt byggas från grunden i lämpligt programspråk eller rentav i något populärt kalkylprogram så länge det inte behöver kopplas ihop med ett stort rörnätverk av dagvattenledningar eller motsvarande. Ett program som dock är inriktat just mot detta är PCSWMM for Permeable Pavers som är ett tillägg till programmet PCSWMM (James, 2003). Programmet beskriver de processer som nämnts i texten ovan och kan användas för dimensionering. Det är dock oklart om det finns att tillgå fristående från den kommersiella produkten PCSWMM eller om även denna måste införskaffas. SWMM är ett fritt tillgängligt datorprogram utgiven av det amerikanska miljödepartementet som används som beräkningsmotor i flera kommersiella produkter som det ovan nämnda PCSWMM men också i MIKE URBAN. Dessa program används för att beskriva och analysera hela avloppssystem i städer.

Ytterligare ett program är "Permeable Design Pro" utvecklat av ICPI som endast är inriktat mot permeabla markstensbeläggningar. Det används för att utforma konstruktionen både strukturellt och hydraulisk som därefter kan utvärderas genom simulering efter en vald dimensionerande nederbörd och fordonstrafik.

8. MILJÖASPEKTER

8.1. NATURLIGARE SYSTEM

I takt med den ökade urbaniseringen har andelen ytor där regnvatten kan infiltrera marken och bilda grundvatten blivit allt mindre. Detta har lett till sänkta grundvattennivåer i städer och en snabbare och större ytavrinning. Det på ytan avrinnande vattnet kan fångas upp i dagvatten- eller avloppsledningar som går rakt ut i en recipient eller in i ett reningsverk. På vägen till en recipient leds dagvatten, ibland genom dammar som är till för rening och fördröjning av dagvattnet. Denna möjlighet är dock ofta begränsad eller obefintlig i en stadsmiljö. På grund av den ökade möjligheten till infiltration genom ett dränerande markstenslager gör detta att en sådan beläggning ur ett hydrologiskt perspektiv påminner mer om ett naturligt tillstånd. Markstenskonstruktioner av typ A påminner till stor del om naturlig mark då en större andel av nederbörden går till grundvattenbildning och en mindre del förs till ytvatten eller kommunala avloppsnät. I typ B införs dränering vilket gör att en större andel vatten förs till exempelvis ett kommunalt avloppsnät eller en infiltrationsbassäng, medan typ C hindrar grundvattenbildning och tillför därigenom enbart en fördröjning och utslätning av flödestoppar.

I de fall man även lyckas åstadkomma en ökad avdunstning kan man få ett svalare klimat i gatumiljön där temperaturen generellt är högre än i naturen (sk. urban heat island effect).

8.2. LOKALT OMHÄNDERTAGANDE AV DAGVATTEN (LOD)

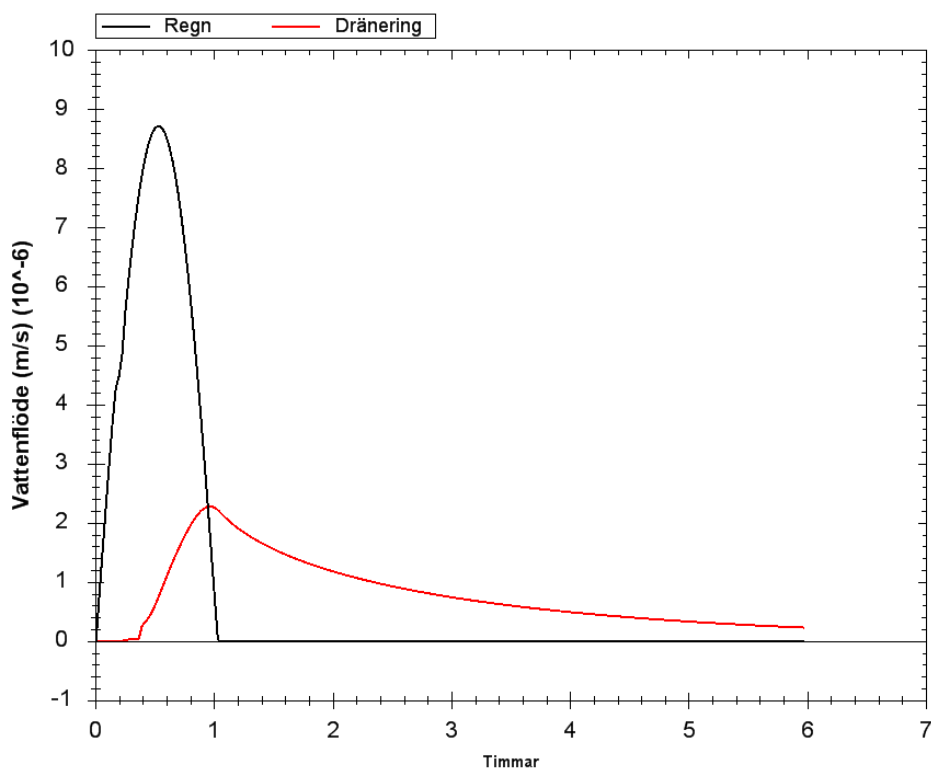
Under 1970-talet utvecklades ny kunskap inom LOD, som i en något längre variant kan utläsas ”En hantering av dagvatten inom det område där det bildats, och som därmed onödiggör eller minimerar dess bortledande. Detta kan åstadkommas genom utnyttjande av infiltration, perkolations och lokal fördröjning av dagvattnet.” Ur ett avloppsperspektiv innebär detta att toppflödena i ledningarna kapas, vilket minskar bräddningen i kombinerade avloppssystem (Introduktion till avloppstekniken, 1996). Det kan även förväntas att markstensanläggningar av typen A eller B leder till en mer naturlig, högre, grundvattennivå i närområdet.

Vad gäller vattenkvalitet hos det mottagande vattendraget blir resonemanget lite mer komplicerat. Reningen av dagvatten vore antagligen allra effektivast om allt dagvatten passerade särskilt utformade reningsanläggningar, men detta är inte praktiskt möjligt pga de enorma rördimensioner och utjämningsmagasin som då skulle behövas. Det näst bästa är då att dagvattnet passerar det filter en dränerande markstensöverbyggnad utgör och inte leds rakt ut i recipienten via bräddning eller dagvattenledningar.

8.3. HYDRAULISKA KONSEKVENSER

I en urban, hårdgjord miljö tillåts inte den dominerande delen av nederbörden att bilda grundvatten utan förs istället till ett kommunalt ledningsnät, till ett vattendrag eller till en sjö. I förlängningen leder detta till att vattendraget eller sjön påverkas snabbare av nederbörden än i ett naturligt system där det långsamma grundvattenflödet dämpar de

svängningar som orsakas av regn. Kraftigare och hastigare flödestoppar i vattendrag leder bl.a. till en ökad erosion i strandbrinkarna, ett grumligare vatten, en ökad sedimenttransport och ökad risk för översvämningar. En hård men permeabel yta utgör något av ett mellanting och om en större andel regnvatten istället passerar en permeabel markstenskonstruktion leder den dämpning och fördröjning av vattenflödestoppar som fås genom denna konstruktion till minskade problem i vattendrag och sjöar. Var och en av de tre typkonstruktioner som diskuterats tidigare medför att flödestoppar i samband med regnfall utjämnas och fördröjs oavsett om mottagaren är underliggande mark eller exempelvis en dagvattenledning. Typ A och B möjliggör även grundvattenbildning och reducerar därigenom den volym vatten som tillförs dagvattensystemet och slutligen recipienten. Alltså minskas risken för t.ex. översvämningar i samband med kraftiga regn genom en kombination av dämpning, fördröjning och reduktion av den vattenvolym som infiltrerar markstenslagret. Ett exempel på hur utflödet från en konstruktion av typ C kan se ut visas i Figur 11 där dämpning och fördröjning av regnpulsen tydligt framgår. Figuren har tagits fram genom simulering baserad på de hydrauliska modeller som presenterats i tidigare avsnitt.



Figur 11. Utflödet från en markstenskonstruktion i samband med ett regn.

8.4. RENING AV DAGVATTEN

Dagvatten kan innehålla en mängd olika föroreningar. Sammansättningen beror på de verksamheter som bedrivs i närområdet. Föroreningar från trafikerade vägar beror av trafikvolymen och de underhållsåtgärder som rutinmässigt bedrivs på den aktuella sträckan (Hallberg, 2007). I Vägverket (2004) indelas föroreningarna i fyra klasser: partiklar, metaller, organiska ämnen och näringsämnen och typiska halter för respektive grupp (och vissa enskilda ämnen) ges baserade på trafikvolym. Den minsta volymen är dock 10000 ÅDT, sannolikt ett trafikflöde som de flesta markstensbeläggningar inte belastas av. I texten nedan gjordes indelningen snarare efter typ av reningsprocess. Reningsförmågan kan förbättras genom att öka exfiltrationsgraden (större infiltration till terrassen), öka retentionstiden och genom kontinuerligt underhåll av fogar (Debo, 2003). I tabellen nedan beskrivs mekanismer bakom rening som kan förekomma i dränerande beläggningar.

Tabell 9: Möjliga mekanismer för rening som kan förekomma på ytor och överbyggnader med dränerande marksten. Tolkat efter (CIRIA, 2004).

Förorening	Reningsmekanism
Näringsämnen (fosfor, kväve)	Biodegradering
Sediment, partiklar	Filtrering
Kolväten (PAH, VOC, THC, ...)	Biodegradering, fotolys, filtrering, adsorption
Metaller (Bly, koppar, kadmium, ...)	Adsorption, filtrering, upptag hos växter
Bekämpningsmedel, kemikalier	Biodegradering, adsorption, fotolys, avdunstning

8.4.1. PARTIKULÄRT BUNDNA FÖRORENINGAR

Hallberg (2007) studerade vägdagvattnets sammansättning med särskilt fokus på metaller, som i vägdagvattnet finns i löst form och bundet till partiklar. En god korrelation visade sig finnas mellan mängden suspenderade partiklar och mängden metaller med undantag av kadmium. Den största andelen metaller var alltså partikelbunden. Fogarna mellan markstenarna och underliggande granulära lager fungerar ungefär som ett sandfilter i ett avloppsreningsverk, dvs partiklar som transporteras av vattnet fastnar i det granulära materialet medan vattnet fortsätter. Alltså leder fastläggning av partikulärt material till att belastningen av metaller på mottagande vatten eller reningsverk minskar och fastläggningen är ur miljösynpunkt alltså positiv medan den är ett problem ur underhållssynpunkt eftersom ytans infiltrationskapacitet och de underliggande lagrens hydrauliska konduktivitet minskar.

8.4.2. FÖRORENINGAR I LÖST FORM

Föroreningar i dagvattnet finns inte bara bundet till partiklar utan även lösta i vattnet. Dessa är på grund av detta lätttrörliga och svåra att komma till rätta med genom mekaniska tekniker. En metod som prövats för detta ändamål är reaktiva filter. Dessa fungerar som metallavskiljare genom att de lösta metalljonerna binder till ytgrupper på filtermaterialen eller att svårslösliga utfällningar bildas (Lindqvist, 2005). Lindqvist (2005)

studerade i labbmiljö fyra mineraliska filtermaterial: kalciumoxiddopad masugnsslagg, järnoxidsand, olivin och nefelin. Resultaten visade att slaggen var det effektivaste filtermaterialet och att detta har stor potential att användas för avskiljning av tungmetaller. Även järnoxidsanden fungerade bra. De metaller som avskiljdes bäst var bly, kadmium och nickel. För vissa metaller, främst koppar, krom och kvicksilver, försämrades avskiljningen betydligt när löst organiskt material fanns närvarande. Det återstår att visa vilka resultat som kan uppnås ifall dessa material används i dränerande beläggningar. Hallberg (2006) studerade granulerat masugnsslagg och fann att god avskiljning erhöles för kadmium, koppar, nickel och zink oberoende av förhöjda halter av vägsalt. Hallberg fann även att mängden partiklar i vattnet hade stor inverkan på effektiviteten, och att denna därför bör minskas innan vattnet passerar de reaktiva filtren. Masugnsslagg används redan idag i vägar, inte för deras eventuella renande förmåga, utan därför att det kan vara ett billigt och bra byggmaterial i sig. Vid sidan av reaktiva filter finns även passiva filter för fastläggning, fördröjning och/eller nedbrytning av urlakade föroreningar som fungerar under skäligen tid utan aktiva åtgärder (Larsson et al., 2007). Larsson et al. (2007) presenterar en genomgång av ett stort antal materials renande förmåga och de förutsättningar som krävs för en god funktion. Skiljelinjen mellan passiva och (re)aktiva material är dock inte helt klar vilket innebär att exempelvis masugnsslagg som kallas reaktivt av exempelvis Lindqvist (2005) kallas passivt av Larsson et al. (2007).

I bland annat Brattebo (2003) har vattenkvalitén för det vatten som har perkolerat genom överbyggnaden på en permeabel konstruktion jämförts med ytavrundet vatten från en impermeabel beläggning. Studien visade att vattnet som infiltrerat underbyggnaden hade betydligt lägre nivåer av koppar och zink än det vatten som runnit av ytan. I 89 % av proverna från det ytavrundna vattnet upptäcktes spår av motorolja men varken motorolja, bensin eller diesel kunde spåras i det infiltrerade vattnet.

8.4.3. ORGANISKA FÖRORENINGAR

Organiska föroreningar förekommer på trafikerade ytor och kan kopplas till spill av oljor, bränsle och andra vätskor från fordon. Forskning i Storbritannien (CIRA reports C609) har visat att ytvatten som runnit ut i dagvattensystemet från asfalterade parkeringsplatser innehöll 30-70 mg oljor per liter vatten. I samma rapport görs gällande att användning av dränerande markstenar avsevärt kan reducera mängden petroleumprodukter och andra föroreningar som belastar dagvattensystemet. Föroreningar stannar på ytan eller filtreras ner i de underliggande delarna av konstruktionen och fastnar där. Oljorna fångas upp i de övre delarna av överbyggnaden och utsätts för biologisk nedbrytning av naturligt förekommande bakterier och svampar och kan på sikt brytas ner enligt de redovisade rapporterna i Interpave (2008). Man kan öka graden av biologisk nedbrytning genom att applicera geotextil direkt under sättsandslagret. Geotextilen är dränerande och släpper igenom vatten, medan oljor fastnar. Bakterier och svampar i geotextilen kan omvandla oljorna till bland annat glukos som dessa organismer använder för sin egen tillväxt och reproduktion (Interpave 2008).

Enligt Larsson et al. (2007) är organiska föroreningar inte sällan hydrofoba, d.v.s. svår-lösliga i vatten. I vatten gäller det principiellt att hydrofoba föreningar är bundna till andra partiklar som därmed kan tas omhand av ett partikelfilter. Om de däremot föreligger i en separat fri fas kan de istället tas hand med ett filter som sorberar hydrofoba fö-

reningar, ett så kallat hydrofobt filter. Det är viktigt att skapa tillräckligt lång uppehållstid i filtret för att föroreningar som med tiden kan omvandlas eller brytas ner, ska ges tillräcklig tid för att de processerna faktiskt ska ske. Om omvandlingen är kemiskt baserad kan omvandlingen vanligtvis ske snabbt och därmed kan en kort uppehållstid vara tillräcklig. Om den däremot baseras på biologisk nedbrytning så tar omvandlingen betydligt längre tid. Det kan därför vara svårt att uppnå en god biologisk nedbrytning i vägöverbryggnader eftersom man helst inte vill ha vatten stående i konstruktionen under en längre tid. Därför uppkommer behov av geomembran eller geotextil som släpper igenom vatten men håller kvar organiska föroreningar. Det finns exempel på geotextil som är anpassade för att förbättra mikroorganismers levnadsvillkor, till exempel geoskydd vid torrare perioder.

Scholz och Grabowiecki (2007) menar i sin litteraturöversikt att permeabla beläggningar effektivt kan fånga och lagra eller fördröja kolväten och därigenom förbättra kvalitén på vattnet. Vid förekomst av tvättmedel kunde dock inte samma renande effekt uppnås. Vidare rapporteras om mycket positiva effekter av mikrobiologisk nedbrytning där framväxten av en mikrobiologisk mångfald är nyckeln till en effektiv nedbrytning. Scholz och Grabowiecki nämner siffran 98,7% reduktion av kolväte medan forskningsresultat i rapporten av Newman (2006) från Storbritannien visar att cirka 45 procent av mängden tillförd olja hade brutits ned av biofilmen redan efter sex månader. Det återstår dock att se hur effektiv biodegradering är under svenska förhållanden under faktiska betingelser.

9. BYGGPROCESSEN

Burak skriver att högsta prioritet vid byggskedet är att undvika igensättning av de permeabla lagren. Ett utförande som innebär att leriga maskiner och material hålls borta, stegvis schaktning och temporära dräner kan betyda skillnaden mellan en lyckad och misslyckad anläggning.

I övrigt skiljer sig inte utförandet jämfört med traditionell markstensbeläggning och samma hänsyn bör i övrigt tas som vid utförande av vägöverbyggnader i fråga om hantering av packning, lagertjocklekar, geotextiler, jämnhet, osv.

10. DRIFTSKEDET

10.1. MINSKAD INFILTRATIONSFÖRMÅGA

Permeabla fogar sätts igen av smuts och finpartiklar med åren vilket avsevärt minskar den dränerande förmågan. Fogarnas permeabilitet kan förbättras genom högtrycks-spolning eller sopning. Fogmaterialet kan också rengöras mer på djupet med högtrycks-spolning varpå fogen återfogas med fogsand. Att undvika källor till nedsmutsning eller mer frekvent sopning är också åtgärder som bör beaktas för att upprätthålla den infiltrerande förmågan. Utan tillräckligt underhåll och undermåligt skydd vid byggprocessen kan igensättning uppkomma direkt eller inom 3-5 år med otillräcklig infiltrationsförmåga som följd. Igensättning de översta centimetrarna kan vara tillräckligt för att förhindra infiltration (Debo, 2003).

Aktiviteter som kan bidra till att smuts uppkommer bör begränsas för att minska behovet av underhåll, till exempel tvätt av bilar och liknande. Debo (2003) rekommenderar att skyltar sätts upp vid platsen som beskriver konceptet med permeabla beläggningar, aktiviteter som bör undvikas och specificering av underhållskrav.

10.2. UPPBYGGNAD MED HÄNSYN TILL KALLT KLIMAT

Burak (2004) rekommenderar att ytor med permeabel beläggning inte ska placeras i direkt anslutning till större vägar för att undvika ökad risk för tjälproblem i dessa på grund av infiltrerande vatten. ICPI (2006) rekommenderar ett avstånd på åtminstone 6 m från den större vägens underbyggnad. För svenska förhållanden torde problemet vara begränsat för vägar byggda enligt Trafikverkets regelverk eftersom de är byggda för att tåla betydande tjäle och att terrassen föreskrivs dräneras 0,3 m under terrassnivå. Hålrum inverkar på riskerna för skador i samband med tjäle genom att erbjuda möjligheter för expansion av vatten vid isbildning, genom att bryta kapillärsugning av vatten samt öka permeabiliteten och därmed dräneringsförmågan. UNI-Group USA (2008) rekommenderar att permeabiliteten för terrassmaterial inte understiger $2 \cdot 10^{-6}$ m/s för att vattnet ska perkolera i tillräckligt hög takt genom underbyggnaden och därigenom minska risken för vattensamlingar på terrassen.

I Interpave (2010) hävdas att permeabla markstensbeläggningar i mindre utsträckning utsätts för tjällyft. Det anges att den tjockare överbyggnaden och extra hålrummen i förstärkningslagret ger vattnet tillräckligt plats för vattnet att expandera vid övergång till is. Enligt Ferguson (2005) har inte några projekt med mätbar påverkan av tjällyftning påträffats. En möjlig faktor som påverkar tjälförloppet är frostdjupet under tjälperioden. Frostdjupet beror bl.a. av tillgången på vatten som kan frysa till is. Isbildning frigör värmeenergi som motverkar att frostdjupet ökar (Bäckström, 1995).

10.3. ÖVERVAKNING, DRIFT OCH UNDERHÅLL

10.3.1. ÖVERBYGGNADENS FUNKTION

För att behålla den permeabla beläggningsens funktion krävs det att olika åtgärder utförs under anläggningens livscykel. Debo (2003) rekommenderar en aktivitetslista enligt tabell 10 med åtgärder för övervakning, drift och underhåll. Efter färdigställande behövs extra krav ställas på övervakning av funktion eftersom om konstruktionen gjorts felaktigt kan problemen uppkomma tidigt. Det rekommenderas att detta sker månadsvis ca 3 månader efter färdigställandet. Därefter bör även övervakning av infiltrationsegenskaper och tillkomst av sediment i fogarna göras åtminstone varje månad. Om det bildas polar på beläggningsen indikerar det med stor visshet att fogarnas eller sättsandens infiltrationsförmåga har försämrats, därmed finns ett behov av underhåll (Interpave, 2005). För att underlätta övervakningen av anläggningens infiltrerande funktion rekommenderas det att en observationsbrunn installeras vid slutet av den neråtlutande sidan. Brunnen kan bestå av ett perforerat PVC-rör med en diameter på 1-1,5 dm som sätts i en stenbädd med ett borttagningsbart lock högst upp. Vattendjupet ska mätas direkt efter en kraftig nederbörd, samt efter 24h och 48h för att avgöra infiltrationsegenskaper och dräneringsförmågan.

Utöver det rekommenderas det att beläggningsen rengörs åtminstone 3 gånger per år för att rensa bort sediment från fogar och perkolationsöppningar. Detta kan göras med vakuumsugning som körs över hela beläggningsytan. I Intepave (2005) ges råd om varsamhet för att undvika att fogmaterialet följer med. Om det så sker, ska det ersättas med nytt. Även högtryckstvätt kan användas för att ta bort sediment. Risken är dock att även fogsanden spolats bort vilket medför att ny fogsand bör appliceras för att behålla jämnhet och strukturell förmåga.

Slutligen rekommenderas det att årligen undersöka beläggningsens yta efter skador på grund av trafik, så som ojämnheter, spårbildning och krossade markstenar.

För att mer permanent åtgärda lokala igensättningar finns det bland annat i Interpave (2005c) riktlinjer för hur markstenar inom ett begränsat område kan tas upp och hur en reparation kan utföras. Svensk marbetong (1999) rekommenderar att minst ½ m runt den skadade området även tas upp för med noggrann packning för att undvika ojämnheter. I de flesta fall torde det dock räcka med att spola bort fogsanden och ersätta med ny. Om problemet ligger djupare ned i konstruktionen återstår att renovera hela beläggningsen genom att ta bort alla markstenar och göra om beläggningsarbetet.

Tabell 10: Åtgärdslista och intervall för drift och underhålls-aktiviteter (Debo, 2003).

Aktivitet	Periodicitet
<ul style="list-style-type: none"> • Initial besiktning 	Månadsvis i 3 månader efter färdigställandet
<ul style="list-style-type: none"> • Se över om beläggningen är fri från sediment 	Månadsvis
<ul style="list-style-type: none"> • Se över att närliggande områden är skötta 	När det behövs
<ul style="list-style-type: none"> • Vakuumsopa och högtryckstvätta för att hålla sediment borta 	4 gånger per år
<ul style="list-style-type: none"> • Se över beläggningsyta för försämringar • Undersöka så att anläggningen kan dräneras tillräckligt mellan skyfall 	Årligen

10.3.2. VINTERDRIFT

Snöupplag och isbildning kan påverka permeabiliteten hos beläggningen. Sandning bör göras med 2-5 fraktion, vilket är det normala vid både fogning av dränerande markstensbeläggningar och sandning, för att förhindra att fogarna sätts igen och därmed minskar infiltrationsförmågan.

Användning av vägsalt bör normalt minimeras eftersom det inte sker någon fastläggning eller nedbrytning av kloridjonerna (Thunqvist 2003), som därmed genom perkolation genom underbyggnaden slutligen kommer till grundvattnet. I tabell 11 presenteras kloridkoncentrationerna för några typer av vattenmiljöer. I miljöer där koncentration är hög blir påverkan liten, medan om halterna höjs i miljöer där kloridkoncentration naturligt är låga ger en förhöjning mer påtagliga effekter. Om saltet tillåts perkolera genom överbyggnaden istället för att direkt, via dagvattenledningar, nå grundvatten och vattendrag fås en utspädningseffekt över tiden som jämnar ut de höga kloridkoncentrationerna som annars kan förekomma.

Tabell 11: Kloridkoncentration vid olika vattenmiljöer

Typ av vatten	Kloridkoncentration (mg l⁻¹)
Regnvatten	1
Sjöar	4
Grundvatten, ytliga brunnar	10
Grundvatten, djupa brunnar	15
Östersjön	3000
Oceanerna	19000

Platser som är känsliga för ökade kloridhalter bör därför beaktas vid planering eller att övervakning sker med exempelvis observationsbrunnar i underbyggnad och terrass (ICPI, 2006). Resultat från tidigare projekt har visat att på grund av den dränerande förmågan krävs mindre salt för att hålla beläggningen i jämförbar funktion eftersom mindre is bildas på ytan på grund av den bättre dräneringen och att snö och is smälter bort i högre takt (ICPI, 2006).

11. REKOMMENDATIONER

Nedan följer en sammanfattning av de rekommendationer som har nämnts i rapporten och som baseras på tidigare litteratur och studier.

Vid planeringsskedet är det viktigt att tidigt involvera och ha goda kommunikationer med anläggningens intressenter. Detta ger större möjligheter att tillgodose intressenternas behov, deras åtanke och ta till vara deras kunskaper. Detta medför att anläggningens utformning kan anpassas efter förväntad användning. Till exempel om det sker en aktivitet som kan medföra att sediment kommer in på beläggningen, kan problem undvikas genom att det stråket beläggs med impermeabel beläggning. Det medför minskat behov av underhåll och kan sänka anläggningens drift- och underhållskostnader. Men det ger också möjligheten att styra användningen genom att t ex. visuellt styra att vissa stråk används och ger möjlighet till en mer estetisk tilltalande samt varierande utformning. De permeabla egenskaperna kan även utnyttjas till en förbättrad stadsmiljö genom att plantera träd och vegetation som tack vare bättre grundvattenbestånd får bättre levnadsvillkor.

Det är också viktigt att tidigt inse vid vilka användningsområden som dränerande beläggning är lämpligt att använda, och när det inte är det. I litteraturen nämns blandat parkeringsplatser, torg, serviceområden och andra lågtrafikerade platser som ideala för att tillämpa permeabla konstruktioner. Som icke lämpliga platser anges bland annat vägar med tung trafikbelastning (hög flöde/tunga fordon), plats som är förorenad samt platser med dåliga hydrauliska förutsättningar. Men det är viktigt att poängtera att olika typkonstruktioner kan användas, vilket inte utesluter att exempelvis en konstruktion utan infiltration kan tillämpas på platser med risk för utsläpp eller terrassmaterial som har låg hydraulisk konduktivitet.

Innan planering av anläggningens utformning bör platsens hydrauliska egenskaper undersökas eftersom det kommer att påverka teknisk lösning och möjlig utformningen. Dels är det yttre förutsättning som till exempel omgivningen (byggnader, vattendrag etc.) och lutning, dels underliggande egenskaper (normal grundvattennivå, terrassens permeabilitet etc.). Undersökning av terrassen jordart bör utföras och ska göras ner till ca 1 m under förstärkningslagrets underkant. Detta bör göras på åtminstone tre jämnt fördelade platser på anläggningen. Om de hydrauliska egenskaperna anses vara dåliga bör en typkonstruktion med ingen infiltration användas.

För att anläggningens funktion ska upprätthållas en hel livscykel är det viktigt att dimensioneringen av konstruktionen utförs korrekt. Dimensionering syftar till att anpassa beläggning, underbyggnadens lager, lagrens tjocklekar och materialval för att ge tillräcklig stabilitet samt dräneringsförmåga. Detta medför att dimensionering kan delas in i två delar, en hydraulisk samt strukturell del, som dock måste beaktas parallellt för att de ska fungera ihop. Vid den strukturella dimensioneringen anpassas konstruktion för att klara av det tilltänkta användningsområdet, i huvudsak blir det att klara av trafikbelastningen. Vid otillräcklig strukturell dimensionering ökar risken för att markstenarna går sönder samt att det uppstår deformationer, till exempel spårbildning. För att förhindra det bör tillräckligt tjocka markstenar användas samt öka tjockleken på bär- och förstärkningslager. Denna dimensionering kan utföras med hänsyn till rekommendationer

från designguider för permeabla beläggningar som exempelvis Interpave (2008) och ICPI (2006) eller guider för konventionell marksten (Svensk Markbetong). Den hydrauliska dimensioneringens syfte är att konstruktionen ska kunna dränera tillräckligt med regnvatten för att inte det ska bli översvämningar och att vattnet försämrar de strukturella egenskaperna. Den hydrauliska dimensioneringen kan utföras genom uppskattning enligt metoden i kapitlet "Dimensionering för magasinering i förstärkningslagret" för en viss nederbördsintensitet. I UNI-GROUP presenteras ett mer detaljerat tillvägagångssätt som även tar hänsyn till ytavrinning, lutning, eventuell dränering och lagringskapaciteter av varje lager. Eftersom det är många faktorer som måste tas hänsyn till, rekommenderas det dock att något av de tillgängliga datorprogrammen används för att göra detaljerade beräkningar. De hydrauliska beräkningarna kompletteras i dessa program även med strukturella beräkningar/simuleringar för att säkerställa att konstruktionen båda klarar av trafiken och dränera tillräckligt med vatten.

Uppbyggnaden av konstruktionen ska göras med hänsyn till de resultat som erhållits vid dimensioneringen. Materialvalet bör göras enligt rekommendationer som presenteras i olika designguider men som även har de hydrauliska egenskaper som dimensionering har anpassats efter, till exempel permeabiliteten för att ge tillräckliga infiltrationsegenskaper och porositeten för tillräcklig lagringskapacitet. Det dock viktigt att se till att materialen i de olika lagren fungerar ihop för att inte materialvandring ska ske ner till underliggande lager. Om sådan risk finns bör en geotextil användas för att skilja lagren åt.

Enligt litteraturen och tidigare studier är det inte självklart att kallt klimat påverkar permeabla beläggningar mer än konventionella. Tvärtom, så finns exempel på studier som visat att permeabla beläggningar utsätts för mindre tjälproblem än konventionella vägkonstruktioner. Anledningar som anges är blandat annat förstärkningslagrets extra hålrum ger isen mer utrymme vid expanderingen och att infiltration av nytt vatten hjälper till att smälta isen så att frysningen inte blir lika djup.

Vid byggprocessen är det viktigt att utförarna har kunskap om och erfarenheter av permeabla beläggningar. Det på grund av att en hög prioritet vid utförandet är att minimera igensättning av underliggande lager och beläggningen från exempelvis byggtrafik och jord.

De första tre månaderna efter färdigställandet bör kontroller av anläggnings funktion göras månadsvis då en felaktig konstruktion kan påvisa fel tidigt. Därefter bör övervakningen av funktion utföras en gång per år med undersökning av till exempel dränerande förmåga samt beläggningens struktur. För att upprätthålla beläggningens infiltrerande funktion bör exempelvis vakuumsugning eller spolning med högtrycksvätt utföras ett par gånger per år. Markstenarna har ofta en förväntat livslängd på 40 år och om överbyggnaden har byggts korrekt är igensättningen oftast begränsat till fogsand och sättsand (Shackel, 2008). Det kan därav vara tillräckligt att endast restaurera den övre delen, det vill säga endast ta upp markstenarna, lägga ny sättsand och återlägga samma stenar samt ny fogsand.

12. REFERENSER

Beeldens, A., Herrier G. och Vennekens, D. (2006) Storage and infiltration of rain water through permeable paving blocks: a first step to disconnect – results of a Belgian research project. *10th International Symposium on Concrete Roads edition:10* (11pp) Bryssel, Belgien. CEMBUREAU 11pp

Beeldens A, Perez S, De Myttenaere O (2009) “Water permeable pavements in Belgium. From research project to real application” 9th. International Conference on Concrete Block Paving. Buenos Aires, Argentina

Borgwardt S (2006) “Long-term in-situ infiltration performance of permeable concrete block pavement”. *8th International Conference on Concrete Block Paving*. San Francisco, Kalifornien USA. November 6-8

Burak R.J. (2004) Permiabile Interlocking Concrete Pavement – Selection Design, Construction and Maintenance. 2004 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Quebec.

Burak (2006) “Bedding sand selection for interlocking concrete pavements in vehicular applications” Interlocking concrete pavement magazine, November 2006.

Brattebo. B. O och Booth D. B (2003) Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems. *Water Research* 37, pp. 4369–4376.

Bäckström, M. (2000) “Ground Temperature in Porous Pavement during Freezing and Thawing”. *Journal of Transportation Engineering*, Volume 126, Issue 5, pp. 375-381. Luleå Tekniska Universitet. 2000.

CIRIA (2001) “Sustainable Urban Drainage Systems – Best practice guide for England, Scotland, Wales and Northern Ireland” Report C523. Construction Industry Research and Information Association, London.

CIRIA (2004) “Sustainable Urban Drainage Systems, Hydraulic structural and water quality advise” Report C609.. Construction Industry Research and Information Association, London.

Dahlström (1979). *Regional fördelning av nederbördsintensitet – en klimatologisk analys*. VA-Forsk rapport Nr 2006-26

Debo, T N. och Reese , A J. (2003) *Municipal stormwater management*. Lewis Publishers.

Ferguson (2005) *Porous Pavements*, CRC Press, Boca Raton. USA

Hallberg, M, (2007) "Treatment conditions for the removal of contaminants from road runoff" Doktorsavhandling, KTH. Stockholm

Highways Agency (2009). Specification for Highway Works – Series 600 – Earthworks.

ICPI (2004) Bedding Sand Laboratory Testing, File no. L04-0127AT, ICPI – Interlocking Concrete Pavement Institute. Canada

ICPI (2006) "Permeable Interlocking Concrete Pavements – Selection, Design, Construction, Maintenance". ICPI – Interlocking Concrete Pavement Institute. Canada

ICPI (2008) "Permeable Interlocking Concrete Pavements – A comparison Guide to Porous and Pervious Concrete". ICPI – Interlocking Concrete Pavement Institute. Canada. www.icpi.org

Interpave (2005a) "*Structural Design of Concrete Block Pavements*" Interpave. (www.paving.org.uk)

Interpave (2005b). "*Cleaning maintenance and sealing*" Interpave.

Interpave (2005c). "*Reinstatement - guide to the reinstatement of concrete block paving*" Interpave.

Interpave (2008) Permeable pavements – Guide to the design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements, edition 5. December 2008 L534:L217. Published by Interpave, www.paving.org.uk

James W, James WRC, von Langsdorff H "computer-aided design of permeable concrete block pavement for reducing stressors and contaminants in an urban environment" *7th International Conference on Concrete Block Paving*. Sydafrika.

Jansson, C. (2006) "Urban microclimate and surface hydrometeorological processes" TRITA-LWR PHD 1027. Doctoral Thesis in Land and Water Resources Sciences. KTH Architecture and the Built Environment, Stockholm.

Larsson, L., Rogbeck, J., Håkansson, K. (2007) "Passiva filterbarriärer – Vägledning" Varia 586. Statens Geotekniska Institut, Linköping.

Larsson, R. (2008) "Jords egenskaper" Statens Geotekniska Institut, Linköping.

Lindqvist, A., (2005). "Mineraliska material som reaktiva filter för avskiljning av tungmetaller från dagvatten" SLU, Uppsala (ISSN 1401-5765)

Newman, A.P., Coupe, S.J., Robinson, K., (2006) "Pollution Retention and Biodegradation within Permeable Pavements" 8th International Conference on Concrete Block Paving. San Francisco.

Nilsson, A. (2008) "Dimensioneringskriterier för flödesutjämning i dagvattendammar: projektering i praktiken" Dept. of Landscape Management, Design and Construction, SLU. Examensarbeten inom Landskapsingenjörsprogrammet vol. 2008:24.

Omoto, S, Yoshida, T, och Hata, M. (2003) "Full Scale Durability Evaluation Testing of Interlocking Block Pavement with Geotextile". *Proceedings of the 7th International Conference on Concrete Block Paving*. Sydafrika.

Scholz M. och Grabowiecki P. (2007) "Review of permeable pavement systems" *J Building and environment* 42. 3830-3836

Scott Wilson (2006) "Initial Construction Costs for Various Pavement and Drainage Options" published via the Interpave web site

Shackel B. och Pearson A. (2003) "Permeable concrete ECO-PAVING as best management practice in Australian urban road engineering" Presented at 21st ARRB and 11th REAAA Conference, held 18-23 May 2003 in Cairns, Qld, Australien.

Shackel B., Beecham, S., Pezzaniti D., och Myers, B (2008) "Design of permeable pavements for australian conditions" 23rd ARRB Conference – Research Partnering with Practitioners, Adelaide, Australien.

Silfwerbrand J (1999) "Markstensbelägningars bärförmåga – Parameterstudie, jämförelser med utländska alternativ och förslag till dimensioneringstabeller" Teknisk rapport 1999:18, Brobyggnad, Inst för byggkonstruktion, KTH.

Svensk Markbetong, "Belägningar med plattor och marksten av betong – Projekteringsanvisningar och rekommendationer" Svensk markbetong. 1999

Svensk Markbetong (2011).

<http://www.svenskmarkbetong.com/dimensionering/default.aspx>.

Svenskt Vatten, "Klimatförändringarnas inverkan på allmänna - Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen", Meddelande M134, 2007

Eva-Lotta Johansson Thunqvist. Bedömning av kloridkoncentration av i ytvatten och grundvatten till följd av vägsaltning". Doktorsavhandling, Mark- och vattenteknik, KTH. 2003

UNI- Group USA. 1998. Drainage Design and Performance Guidelines for Uni ECO-STONE permeable pavement. Cao L., Poduska, D. and Zollinger D.G. The department of Civil engineering The Texas A&M University system. www.uni-groupusa.org

UNI-Group USA. 2008. UNI ECO-STONE – Permeable interlocking concrete pavement, design guide and research summary. UNI-GROUP USA. www.uni-groupusa.org

Wahlman T, Stahle F (1995) "Öppen överbyggnad och dränerande bärlager: Provväg Borrebackevägen Malmö 1991-1994" Rapport SBUF projekt 0115.

Vägverket (2000) "ATB VÄG 2000" Publikation 2000:111

Vägverket, 2004. Vägdragvatten – råd och rekommendationer för val av miljöåtgärder. Publikation 2004:195

Vägverket (2010). "Hydraulisk dimensionering". Publikation 2008:61