

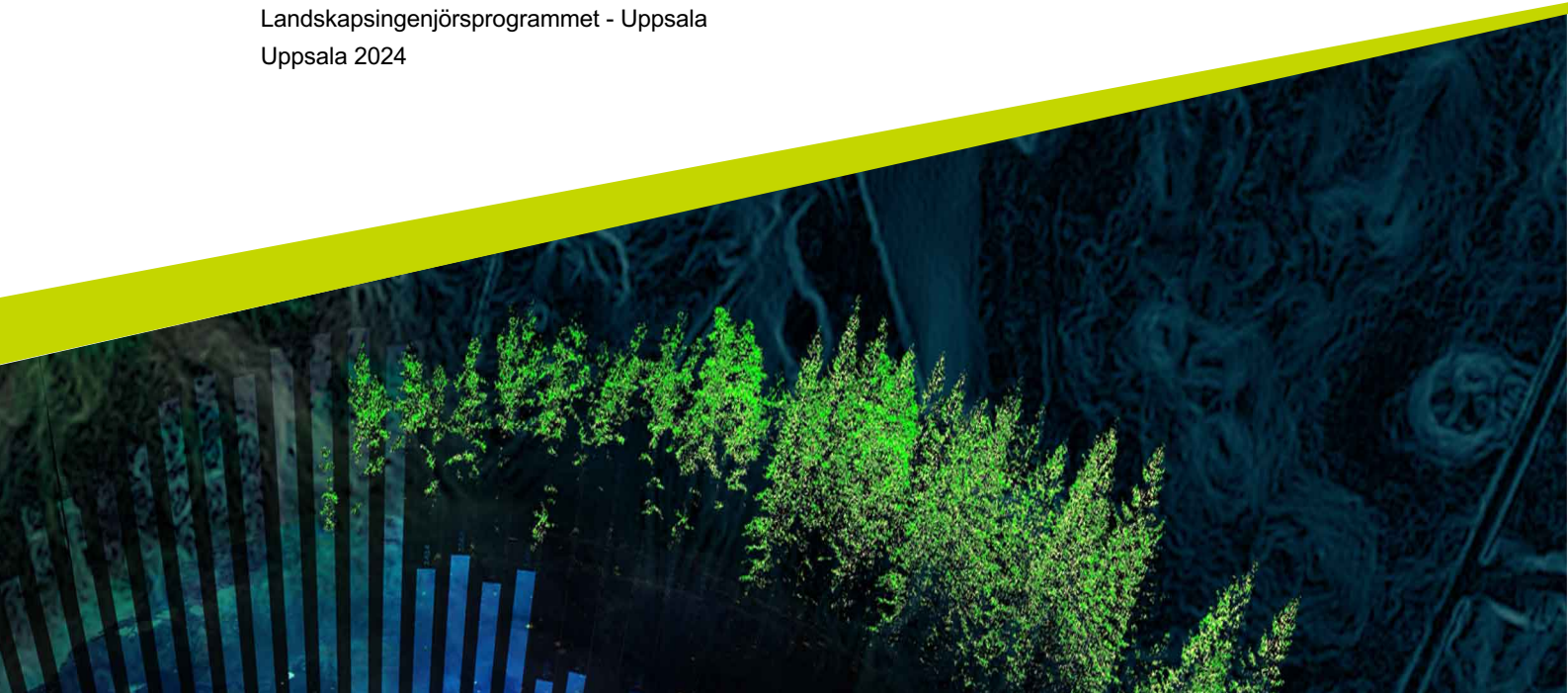


Avgörande faktorer för lämplighet av permeabel asfalt

En sammanställning av platsspecifika faktorer
som påverkar permeabel asfalt

Eskil Fägerblad

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Uppsala 2024



Avgörande faktorer för lämplighet av permeabel asfalt – En sammanställning av platsspecifika faktorer som påverkar permeabel asfalt

Determinants of Permeable Asphalt Suitability - A compilation of site-specific factors affecting permeable asphalt

Eskil Fägerblad

Handledare: Ulla Myhr, SLU, institutionen för stad och land
Examinator: Göran Thor, SLU, institutionen för ekologi
Bitr. examinator: Helena Nordh, SLU, institutionen för stad och land

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i landskapsarkitektur
Kurskod: EX1004
Program/utbildning: Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Kursansvarig inst.: Institutionen för stad och land
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2024
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Permeabel asfalt, lämplighet, dagvattenhantering, infiltration

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för stad och land

Avdelningen för landskapsarkitektur

Sammanfattning

Samhällets utveckling gör att fler ytor i våra urbana miljöer hårdgörs. Detta gör att vattnets naturliga kretslopp bryts och mängden dagvatten i städerna ökar. Samtidigt ökar även regnintensiteten runt om i världen, vilket belastar städernas dagvattensystem ytterligare. Permeabel asfalt är en dagvattenlösning som infiltrerar dagvatten ner i underliggande mark, men används samtidigt som transportyta. Permeabel asfalt har förmågan att förhindra översvämningar och sättningar i marken, samt motverka värmeöar och dämpa buller, vilket är vanligt förekommande i urbana miljöer.

Detta arbete ämnar sammanställa platsspecifika faktorer som påverkar permeabel asfalt, vilket är ett område som idag saknar omfattande dokumentation. Genom att undersöka dessa platsspecifika faktorer kan situationer där permeabel asfalt är ett lämpligt, respektive olämpligt alternativ till tät asfalt avgöras. I arbetet har relevant litteratur inom ämnet granskats och jämförts. Med hjälp av litteraturen har fyra huvudfaktorer som påverkar lämplighet av permeabel asfalt identifierats. Dessa faktorer är markförutsättningar, trafik, klimat och omgivning.

Arbetet har kommit fram till slutsatsen att permeabel asfalt anläggs med störst fördel på en jordart med en hög bärighet och infiltrationsförmåga. Anläggningen lämpar sig bra på platser med mycket regn men påverkas negativt i varma klimat. Permeabel asfalt är olämpligt att anläggas på platser där infiltrering av dagvatten kan resultera i negativa konsekvenser för infrastruktur eller samhället. Platser där halkbekämpning eller omgivande ytor kan reducera ytans infiltrationsförmåga är heller inte lämpliga. Slutligen lämpar sig permeabel asfalt inte som transportyta för tung trafik.

Nyckelord: Permeabel asfalt, lämplighet, dagvattenhantering, infiltration

Abstract

The development of society leads to an increase in hard surfaces in our urban environments. This disrupts the natural water cycle and increases the amount of stormwater in cities. Meanwhile, rainfall intensity is also rising globally, further burdening urban stormwater systems. Permeable asphalt is a stormwater solution that infiltrates stormwater into the underlying soil while serving as a transportation surface. Permeable asphalt has the ability to prevent flooding and subsidence, as well as mitigate heat islands and reduce noise, which are common issues in urban environments.

This study aims to compile site-specific factors affecting permeable asphalt, an area currently lacking comprehensive documentation. By investigating these site-specific factors, situations where permeable asphalt is a suitable or unsuitable alternative to traditional dense asphalt can be determined. Relevant literature on the subject has been reviewed and compared in this study. Through the literature, four main factors influencing the suitability of permeable asphalt have been identified. These factors are soil conditions, traffic, climate, and surroundings.

The study concludes that permeable asphalt is most advantageous when installed on soil with high bearing capacity and infiltration ability. It performs well in locations with heavy rainfall but is

negatively affected in hot climates. Permeable asphalt is unsuitable for installation in places where stormwater infiltration may result in negative consequences for infrastructure or society. Locations where anti-skid treatment or surrounding surfaces may reduce surface infiltration capacity are also unsuitable. Finally, permeable asphalt is not suitable as a transportation surface for heavy traffic loads.

Keywords: Permeable asphalt, suitability, stormwater management, infiltration

Förord

Denna uppsats är ett kandidatarbete på landskapsingenjörsprogrammet vid SLU Ultuna. Detta arbete utfördes under våren 2024 och omfattar 15 högskolepoäng. Genom åren som landskapsingenjörstudent har samhällliga problem som grundar sig i bristfällig dagvattenhantering lyfts flertalet gånger av föreläsare. Vikten av tillgänglighet i samhället har också varit ett återkommande ämne under utbildningen. Permeabel asfalt intresserade mig eftersom det kombinerar dessa två aspekter genom att skapa en tillgänglig yta som också infiltrerar vatten. Det intresserade mig också varför permeabel asfalt sällan används. Under arbetets gång har jag fått svar på många av mina frågor rörande permeabel asfalt, men det har samtidigt väckt nya. Permeabel asfalt tycks vara en komplicerad typ av anläggning med många faktorer som påverkar dess effektivitet och livslängd. I denna uppsats har jag på ett förenklat sätt försökt ge ett tydligt svar på var man kan använda permeabel asfalt.

Jag vill ge ett stort tack till min handledare Ulla Myhr och min handledargrupp som hjälpt mig otroligt mycket genom min skrivprocess. Jag vill också tacka Scott Wahl för att ha inspirerat mig att skriva om permeabel asfalt.

Eskil Fägerblad
Uppsala, april 2024

Innehållsförteckning

Förord	6
1. Inledning.....	8
1.1 Introduktion.....	8
1.2 Syfte/ Frågeställning.....	9
1.3 Avgränsning.....	10
1.4 Metod.....	10
2. Resultat	13
2.1 Markförutsättningar.....	13
2.1.1 Finjord	13
2.1.2 Grovjord.....	14
2.1.3 Grundvatten.....	15
2.2 Trafik.....	15
2.3 Klimat.....	17
2.3.1 Kalla klimat	17
2.3.2 Varma klimat	19
2.3.3 Regniga klimat.....	19
2.4 Omgivning	20
3. Diskussion	22
3.1 Markförutsättningar.....	22
3.2 Trafik.....	24
3.3 Klimat.....	25
3.4 Omgivning	28
3.5 Exempel på användning.....	29
3.6 Metoddiskussion.....	30
3.7 Framtida forskning.....	30
3.8 Slutsats.....	31
Referenser.....	33

1. Inledning

1.1 Introduktion

Våra städer består till stor del av hårdgjorda ytor, speciellt i dess stadskärnor. Enligt FN:s Agenda 2030 bor över hälften av världens befolkning i städer, och vid år 2050 förväntas andelen boende i urbana miljöer öka till 70% (Regeringskansliet 2016). I takt med att stadens befolkning ökar, stiger också behovet av bostäder och annan viktig infrastruktur, vilket resulterar i att staden antingen växer utåt eller förtätas inåt. Urbanisering och förtätning innebär att ännu fler ytor hårdgörs, vilket i sin tur resulterar i större volymer dagvatten som behöver hanteras (Stahre 2004; Danz et al. 2020). Detta på grund av att vattnets kretslopp bryts och markens naturliga förmåga att infiltrera och fördröja nederbörd och dagvatten går förlorad när ytor hårdgörs (Woods-Ballard et al. 2015).

Samtidigt stiger risken för översvämningar i Sverige och andra delar av världen på grund av ökad regnintensitet (Foster & Olsson 2014). Den årliga nederbörden i Sverige har ökat med 100 mm de senaste 100 åren (Naturvårdsverket 2023a). En större mängd nederbörd i samband med en större andel hårdgjorda ytor resulterar i ännu större mängder dagvatten i våra städer.

För att hantera den ökande mängden dagvatten byggs idag olika typer av dagvattenlösningar för att avlasta städernas ledningssystem (Stahre 2004; Woods-Ballard et al. 2015:11). Syftet med dessa dagvattenlösningar är att ta hand om eller fördröja dagvatten innan det till slut hamnar i dagvattenbrunnar och transporteras bort genom ett ledningssystem (Stahre 2004; Danz et al. 2020). En av dessa olika typer av dagvattenlösningar är permeabel asfalt.

Permeabel asfalt eller genomsläpplig asfalt är ett alternativ till den täta asfalten som används i större utsträckning. Permeabel asfalt innehåller porer som tillåter dagvatten att tränga igenom och infiltrera den underliggande marken (Jiang et al. 2015; Danz et al. 2020). Porerna uppstår eftersom att inget finkornigt material under 2,36 mm tas med i asfaltsblandningen (Hamzah et al. 2004). Anläggning av

permeabel asfalt avlastar inte bara ledningssystemet utan bidrar också till att fylla på det underliggande grundvattnet, vilket motverkar grundvattensänkningar och sättningar i marken (Jiang et al. 2015). Sättningar på grund av grundvattensänkning är en stor riskfaktor för byggnader och annan infrastruktur (Gelashvili 2006). Utöver tidigare nämnda tekniska fördelar minskar permeabel asfalt också buller från däck, risken för vattenplaning och uppkomsten av värmeöar genom att vatten kan evaporera genom asfalten (Weiss et al. 2019).

Permeabel asfalt har däremot vissa nackdelar. Ytan en tendens att över tid sättas igen av finkornigt material som fastnar i dess porer och därmed hämma dess infiltrationsförmåga (Stahre 2004; Pezzaniti et al. 2009). Den permeabla asfalten tål också mindre belastning då den anläggs på en genomsläpplig överbyggnad, till skillnad från en konventionell tät asfalt på en packad överbyggnad (Kuruppu et al. 2019). Det platsspecifika klimatet har även en stor påverkan på funktionen och hållbarheten av den permeabla asfalten (Shadman & Ziari 2017; Kuruppu et al. 2019; Zhang & Kevern 2021).

Baserat på tidigare nämnda faktorer behöver permeabel asfalt relativt specifika förutsättningar för att anses som ett lämpligt alternativ vid anläggning av en gata eller annan typ av transportyta. Detta arbete inriktade sig på permeabel asfalt med en genomsläpplig överbyggnad vars syfte är att transportera dagvatten ner till den underliggande terrassen där det sedan kan infiltreras i marken. Denna typ av anläggning valdes då den kräver mer specifika förutsättningar för att optimera funktion och livslängd än en permeabel asfalt med en delvis eller helt packad överbyggnad.

Det saknas en översikt som sammanställer lämpliga användningsområden och platsspecifika variabler för anläggning av en permeabel asfalt med en genomsläpplig överbyggnad.

1.2 Syfte/ Frågeställning

Syftet med detta arbete är att sammanställa i vilka situationer permeabel asfalt är ett lämpligt eller olämpligt alternativ till tät asfalt och varför. Arbetet ämnar söka svar på vilka förhållanden och användningsområden som optimerar den permeabla asfaltens livslängd, samt dess tekniska egenskaper inom dagvattenhantering.

Var är det lämpligt respektive olämpligt att använda permeabel asfalt som en kombinerad dagvattenlösning och transportyta?

1.3 Avgränsning

Det finns många olika sammansättningar och recept av permeabel asfalt som kan hantera en plats olika faktorer med skilda resultat. Detta arbete sammanställde däremot den permeabla asfaltens övergripande potential och inte de tekniska fördelarna med varje specifik sammansättning. Permeabel asfalt kom alltså att användas som ett samlingsbegrepp för alla sammansättningar och det bästa resultatet presenterades i varje kategori.

1.4 Metod

Detta arbete är en analys och sammanställning av olika vetenskapliga artiklar samt böcker som behandlar faktorer vilka påverkar tekniska egenskaper och livslängd av permeabel asfalt.

Lämplighet för anläggningen av permeabel asfalt avgjordes genom att sammanställa platsspecifika faktorer. Dessa faktorer består av markförutsättningar, klimat och användning i form av trafiktyp och trafikmängd, samt påverkan av omgivande ytor och infrastruktur.

Vetenskapliga källor har samlats från SLU-bibliotekets söktjänst Primo, Scopus och Google scholar. Följande sökord har använts i olika kombinationer: Permeabel asfalt, genomsläpplig asfalt, permeable asphalt, porous asphalt, permeable pavement, jordart, lerjord, sandjord, morän, soil, clay, ground, klimat, climate, climate impact, cold climate, nederbörd, rain, salt, vägsalt, halkbekämpning, trafik, traffic, traffic load, vehicle load, strength, bearing capacity, bärighet, tyngd, axeltryck.

Det sökord som gav flest träffar på Primo och Scopus var *Porous asphalt* med 1847 respektive 1501 träffar. Kombinerat med ytterligare sökord sjönk sökresultaten till under 300 träffar på alla kombinationer, men de flesta snittade runt 100 träffar. På Google scholar gav sökordet *Porous asphalt* 18200 träffar, vilket är betydligt fler. Ihop med ytterligare sökord gav majoriteten av sökningarna 6000-11000 träffar. Många av artiklarna var dock inte relevanta för detta arbete.

Vid val av artiklar som behandlar de tekniska funktionerna av permeabel asfalt prioriterades de senast utgivna artiklarna. Eftersom de tekniska funktionerna av

permeabel asfalt förändras kontinuerligt genom utveckling av nya recept och anläggningstekniker, valdes endast artiklar från 2019 och framåt (max 5 år gamla). Artiklar som berörde lämpliga förutsättningar och användningsområden för permeabel asfalt inom detta tidsspänn var däremot få. Många nyare artiklar refererade också till äldre studier, vilket gjorde att kriterierna för val av artiklar sänktes till artiklar från 2010 och senare. Ett fåtal artiklar som används i arbetet är några år äldre än 2010, men valdes på grund av sin relevans inom ämnet och för att det saknades nyare artiklar med liknande innehåll.

Artiklarnas relevans bedömdes genom att läsa deras abstract samt slutsatser och valdes genom dessa kriterier:

- Artiklarna ska behandla permeabel asfalt med en genomsläpplig överbyggnad med syfte att infiltrera vatten i underliggande terrass.
- Artiklarna ska undersöka eller nämna minst en platsspecifik faktor som påverkar den permeabel asfaltens livslängd eller tekniska funktion.

Böcker har hittats online genom SLU-bibliotekets söktjänst Primo, Google scholar, och Googles sökmotor. En bok användes under arbetet: *En långsiktigt hållbar dagvattenhantering* av Peter Stahre, 2004. Även en kursbok från lärplattformen Canvas användes från kursen *Marken som växtplats och markbyggnad*, MV0220, SLU, Uppsala: *Markvetenskap för landskapsarkitekt- och landskapsingenjörsutbildningarna i Uppsala* av Karin Blombäck, Sigrun Dahlin och Jan Eriksson, 2021.

Artiklar och böcker som inte behandlar permeabel asfalt användes också i arbetet för att ge en bakgrund eller ett sammanhang till delar av arbetet. Till exempel har litteratur som berör jordarter och dess egenskaper använts för att kunna förklara varför funktionen och potentialen av permeabel asfalt varierar beroende på underliggande terrass.

Information gällande platsspecifika faktorer som påverkar lämplighet för anläggning av permeabel asfalt har samlats och dokumenterats i resultatdelen. Därefter diskuterades resultatets samtliga rubriker i diskussionsdelen. Vissa delar av resultatet gav inte skäl för diskussion eftersom de bidrog med ett rakt svar som inte motsades av annan litteratur. Från resultatet och diskussionen sammanställdes en slutsats som kortfattat tar upp var permeabel asfalt är ett lämpligt alternativ till tät asfalt.

2. Resultat

I detta kapitel presenteras resultatet av litteratursökningen för att sammanställa de olika aspekter som spelar in vid bedömning av lämplighet för permeabel asfalt i ett område.

2.1 Markförutsättningar

Markens jordart spelar en stor roll för dess tekniska egenskaper. Vid anläggningen av en permeabel asfalt är det viktigt att veta vilken jordart som ska bära upp överbyggnaden och vilket tillstånd jorden har (Scholz 2015; Kuruppu et al. 2019). Enligt Eisenberg et al. (2015:18) kan permeabel asfalt anläggas på de flesta jordar, men jordartens karaktär dikterar överbyggnadens dimensioner och konstruktion.

2.1.1 Finjord

Finjordar är de jordar med de minsta kornstorlekarna (0-0,063 mm) och innefattar lerjord och siltjord (Larsson 2008). Lerjordar har en låg hydraulisk konduktivitet (Kuruppu et al. 2019) vilket gör att de infiltrerar ytvatten långsamt.

Lerjordar med höga lerhalter är också känsliga för sättningar. När lerjorden belastas vid fuktigt tillstånd kompakteras leran och infiltrationsförmågan försämras ytterligare (Blombäck et al. 2021:23). Eisenberg et al. (2015:19) menar att permeabel asfalt kan anläggas på lerjordar och andra jordar med låg hydraulisk konduktivitet, men behöver då ett dräneringsrör i överbyggnaden för att transportera bort vatten som inte hinner infiltrera terrassen innan överbyggnaden blir helt vattenmättad.

Permeabel asfalt har däremot potential att lagra stora mängder vatten i sin överbyggnad på grund av dess höga porositet (Dreelin et al. 2006). Tester visar att lerjordar under en genomsläpplig överbyggnad klarar av att infiltrera dagvatten från nederbörd med låg intensitet (Dreelin et al. 2006; Kuruppu et al. 2019) och reducerar avrinning effektivt vid regn under 20 mm (Dreelin et al. 2006).

Lerjordar kan behandlas för att öka dess infiltrationsförmåga och därmed kunna infiltrera regn av högre intensitet. Tester utförda på en packad lerjord under en genomsläpplig överbyggnad visar att lerjordens infiltrationsförmåga kan öka avsevärt genom luckring, dikning eller att borra hål i leran (Tyner et al. 2009). Zhang & Kevern (2021) förklarar att permeabel asfalt anlagts på de flesta typer av jordar, inklusive lerjordar med låg hydraulisk konduktivitet med lyckat resultat.

De flesta lerjordar får däremot en försämrad bärighet vid vattenmättat tillstånd, vilket reducerar dess förmåga att bära upp gator med tung eller hög trafikbelastning (Jones et al. 2010; Kuruppu et al. 2019). Bärigheten för finkorniga jordar som lerjordar och siltjordar minskar i takt med att vattenhalten i jorden ökar (Jones et al. 2010). Permeabel asfalt bör inte anläggas på jordar med tendensen att krympa eller svälla i stor grad (Eisenberg et al. 2015:19). Detta eftersom det kan resultera i att terrassen rör sig under anläggningen. Gyttejeler har en stor krymppotential när den torkar ut och är därmed olämplig att anlägga på (Blombäck et al. 2021:26).

Siltjordar är problematiska i anläggningssammanhang eftersom de saknar en stark struktur (Blombäck et al. 2021:19). De har en starkt vattenhållande förmåga som ger dem tendensen att uppnå nästan flytande konsistens i vattenmättat tillstånd (Blombäck et al. 2021:19). Baserat på tidigare nämnda referenser är detta problematiskt eftersom den permeabla asfaltens syfte är att transportera dagvatten till underliggande terrassyta, vilket i sin tur försvagar siltjordens struktur.

2.1.2 Grovjord

Grovjord består till störst del av större kornstorlekar (0,063-63 mm) som grus eller sand och kan delas in i grus- respektive sandjordar (Larsson 2008). Både sand och grus har en väldigt hög infiltrationsförmåga eftersom de innehåller en stor andel stora porer (Blombäck et al. 2021:18).

Sandjordar och grusjordar har en högre resistens mot marktryck än finjordar och därmed en högre bärighet (Larsson 2008). Det gör dem till ett bättre alternativ som terrassyta vid anläggningen av en permeabel asfalt i den aspekten.

Studier utförda på permeabel asfalt anlagt på sandjord visar att sandjordens och den genomsläppliga överbyggnadens höga porositet troligtvis isolerar marken från låga temperaturer (Wenck Associates 2014). Enligt studierna sjönk aldrig temperaturen mer än ett fåtal grader under 0°C i botten av överbyggnaden trots att temperaturen i luften ovanför den permeabla asfalten uppmättes till -15°C. Vid höga temperaturer på våren uppmättes istället lägre temperaturer i botten av överbyggnaden i jämförelse med den permeabla asfaltsytan och luften ovanför.

Vidare visar mätningarna att sandjordar under permeabel asfalt får en mindre djupgående tjäle än lerjordar under permeabel asfalt. Det betyder att de kan infiltrera vatten effektivt även under vinterhalvåret, vilket resulterar i en mindre risk för isbildning på ytan (Wenck Associates 2014).

2.1.3 Grundvatten

Eftersom permeabel asfalt infiltrerar dagvatten bör vissa säkerhetsåtgärder tillämpas för att motverka kontaminering av underliggande grundvatten. På grund av föroreningar som dagvatten för med sig bör inte permeabel asfalt anläggas på mark med en hög grundvattenyta eller berggrund för att förhindra att grundvattnet kontamineras (Jiang et al. 2015; Selbig et al. 2019). I de allra flesta fall ska den permeabla asfalten och dess överbyggnad ligga ovanför högsta grundvattennivå (Eisenberg et al. 2015:19). Om föroreningar behöver färdas en längre sträcka genom underliggande markprofil innan de når grundvattnet ökar möjligheten för markens kemiska processer att bryta ner dem, och därmed minska deras koncentration (Woods-Ballard et al. 2015:53). Avståndet mellan botten av överbyggnaden och högsta grundvattennivå bör uppfylla lokala eller statliga krav för platsen om sådana finns, men ett generellt mått är 0,6 m (Eisenberg et al. 2015:19).

Om det underliggande grundvattnet används som dricksvatten blir kraven hårdare. Mer än hälften av Sveriges dricksvatten hämtas från grundvatten (SGU 2020). Den typ av permeabel asfalt som arbetet behandlar har till syfte att infiltrera dagvatten i underliggande mark. Genom att infiltrera dagvatten i marken bidrar anläggningen till att fylla på underliggande grundvattenförråd (Jiang et al. 2015). Dagvatten som filtreras genom permeabel asfalt renas delvis från föroreningar men uppnår inte drickbar kvalitet (Hammes et al. 2018). Permeabel asfalt är därmed inte lämplig att anlägga ovanför vattentäcker där dricksvatten hämtas ifrån.

2.2 Trafik

Permeabel asfalt är applicerbar i många olika sammanhang. Genomsläppliga beläggningar har i årtionden använts till gång- och cykelbanor, trottoarer, gågator och torg (Ndon 2017), vilket fortfarande är vanliga användningsområden för permeabel asfalt (Eisenberg et al. 2015:5). Den tekniska utvecklingen av permeabel asfalt har däremot resulterat i att den börjat användas som underlag för lägre biltrafikvolymmer med låg hastighet (Ndon 2017), vanligtvis med en hastighet runt 55 km/h eller lägre (Eisenberg et al. 2015:5). Med rätt sammansättning och

konstruktion är permeabel asfalt ett lämpligt alternativ till tät asfalt på parkeringsytor, mindre tillfartsgator, uppfarter och vägrenar (Jones et al. 2010). Det är också de vanligaste användningsområdena för permeabel asfalt idag (Selbig et al. 2019).

Permeabel asfalt har dock sina begränsningar. Den typ av permeabel asfalt som arbetet behandlar läggs på en genomsläpplig överbyggnad, vilket gör den svagare än en traditionell packad överbyggnad som klarar en högre belastning (Kuruppu et al. 2019). I en packad överbyggnad fördelas vikten över en större yta jämfört med en genomsläpplig överbyggnad som till stor del består av hålrum (Kuruppu et al. 2019).

Bärigheten av permeabel asfalt kan påverkas av mer än bara överbyggnaden. Enligt Guo et al. (2019) är permeabel asfalt med en genomsläpplig överbyggnad och terrass endast lämplig för små trafikvolymmer. Detta eftersom terrassens stabilitet kan påverkas negativt av vatten som infiltreras genom den permeabla asfalten (Guo et al. 2019). Det har ännu inte utvecklats en permeabel asfalt med en helt genomsläpplig överbyggnad för vägar med tung trafik och hög hastighet (Ndon 2017).

Permeabel asfalt kan ha lätt att utveckla spårbildningar om de utsätts för tung trafik, speciellt vid högre temperaturer (Wang et al. 2018). Tester utförda av Wang et al. (2018) visar däremot att vissa recept och anläggningsmetoder kan resultera i att den permeabla asfaltsytan klarar en medeltung trafikbelastning. I testerna undersöktes motståndskraften mot spårbildningar i permeabel asfalt, respektive tät asfalt. Asfaltsytorna utsattes för ett tryck av 100 kN repeterade gånger, vilket representerar axeltrycket på ett tungt fordon. I Sverige är det högsta tillåtna axeltrycket på ett tungt fordon 112,8 kN på drivande axlar och 98,1 kN på icke- drivande axlar (Transportstyrelsen 2023).

Trafikklassen som asfalten klarar av att bära upp avgjordes grundat på antal gånger de klarade det repeterade trycket (Wang et al. 2018). I Kina, där testet utfördes, delas trafikklasserna upp i fyra kategorier: extra tung trafik, tung trafik, medeltung trafik och lätt trafik (Wang et al. 2018). För att en asfaltsyta ska anses som lämplig för respektive trafikklass behöver den klara trycket på 100 kN ett visst antal gånger:

- Mycket tung trafik - $2,5 \times 10^7$ gånger
- Tung trafik - $1,2 \times 10^7$ gånger
- Medeltung trafik - $3,0 \times 10^6$ gånger

För lätt trafik beskrivs inget krav (Wang et al. 2018).

I testet klarade den täta asfalten ett tryck på 100kN $2,0 \times 10^7$ gånger, vilket resulterar i att den är lämplig att bära tung trafik. Permeabel asfalt med en genomsläpplig överbyggnad klarade trycket $8,6 \times 10^6$ gånger, vilket betyder att den anses lämplig för medeltung trafik (Wang et al. 2018).

Permeabel asfalt påverkas inte bara av fordonens vikt utan även av deras däcktyper. Användning av dubbdäck och snökedjor på permeabel asfalt sliter på ytan och förkortar därmed dess livstid (Zhang & Kevern 2021). Vid användning av dubbdäck frigörs små partiklar från alla typer av asfaltsytor (Naturvårdsverket 2023b). Dessa partiklar kan även bidra till att sätta igen en permeabel asfaltsyta (Al-Rubaei et al. 2013), då de samlas i ytans porer och förhindrar infiltration av vatten. Permeabel asfalt är därmed olämplig som transportyta för fordon med dubbdäck eller snökedjor.

2.3 Klimat

Detta avsnitt går igenom hur temperaturer, samt halkbekämpning påverkar permeabel asfalt. Avsnittet kommer också nämna nederbörd i relation till permeabel asfalt.

2.3.1 Kalla klimat

I kalla klimat utförs ofta olika typer av halkbekämpning för att bidra till gators säkerhet och tillgänglighet. Denna halkbekämpning kan bestå av sand, mindre fraktioner av grus eller vägsalt.

Halkbekämpning

Vid saltning av permeabla gator infiltrerar saltet den permeabla asfalten samt dess överbyggnad och får därmed en minskad koncentration (Borst & Brown 2014). Vid de första regnen efter saltning läcker dock salthalter av toxisk nivå ut (Borst & Brown 2014).

Salt som används för halkbekämpning tros ha förmågan att ta sig ner och förstöra aggregatstrukturen på en lerjord genom att påverka jordens kemiska sammansättning (Winston et al. 2016). En skadad aggregatstruktur försämrar jordens infiltrationsförmåga och vattengenomsläpplighet (Berglund & Gustafson Bjuréus 2008). Jorden får också en ökad risk för sättningar då aggregaten också bidrar till lerjordens struktur (Blombäck et al. 2021:22).

Fortsatt bidrar salt med att transportera vidare partikelbundna föroreningar som tungmetaller efter att de fastnat i den permeabla asfalten eller den genomsläppliga överbyggnaden (Winston et al. 2016). Vägsalt kan infiltrera marken under den permeabla asfalten och till slut förorena grundvattnet (Dietz et al. 2017). Kuruppu et al. (2019) förklarar att vissa studier inte rekommenderar användning av permeabel asfalt i kalla klimat på grund av problematik som uppstår av vägsalt.

Roseen et al. (2014) hävdar att permeabel asfalt fungerar väldigt bra som både dagvattenlösning och infrastruktur i kalla klimat, förutsatt att ingen sand påförs, kontinuerlig plogning utförs och att ytan saltas. Författarna menar däremot att permeabel asfalt behöver upp till 77% mindre vägsalt årligen än en tät asfalt, då smältvatten infiltreras istället för att ligga kvar på ytan. När smältvatten blir kvar på den täta asfaltens yta fryser den till is vid temperatursänkningar och kräver därefter ytterligare halkbekämpning. Studier visar att permeabel asfalt som endast plogas uppnår samma resultat som en tät asfaltsyta som behandlats med vägsalt utöver plogning (Wenck Associates 2014). Studierna visar dock att det kan ta allt ifrån ett fåtal timmar till över 6 timmar för snö, is och vattnet på den permeabla asfalten att smälta och infiltreras.

Sandning kan resultera i att den permeabla asfaltens infiltrationsförmåga reduceras drastiskt. Att sanda permeabel asfalt som halkbekämpning bör undvikas, speciellt sand innehållande damm och andra små partiklar som lätt kan sätta igen ytans porer (Al-Rubaei et al. 2013). Utan rätt underhåll kan sandning förkorta den permeabla asfaltens livslängd avsevärt (Al-Rubaei et al. 2013). Gator eller vägar som sandas eller grusas med mindre fraktioner av grus tycks vara olämpliga alternativ för implementering av permeabel asfalt baserat på tidigare nämnda källor. Grövre fraktioner av grus är att föredra som halkbekämpning på permeabel asfalt (Al-Rubaei et al. 2013).

Temperatur

Tester i labb visar att permeabel asfalt är mer motståndskraftig mot hög belastning vid rumstemperatur (ca 22°C) då den är mer elastisk än vid fryspunkten (Shadman & Ziari 2017). Kuruppu et al. (2019) förklarar att den permeabla asfaltens struktur kan skadas och spricka vid låga temperaturer då vatten i asfalten expanderar vid fryspunkten. Däremot visar den permeabla asfalten förmåga att kunna leda värme från den underliggande marken upp till dess yta, och därmed klara av ett kallt klimat (Kuruppu et al. 2019). Al-Rubaei et al. (2013) menar istället att permeabel asfalt har en lägre risk att skadas av låga temperaturer än en tät asfalt, då tjälen under en permeabel asfalt blir grundare och beläggningen värms upp snabbare vid höjda temperaturer.

Studier utförda på permeabel asfalt anlagt på sandjord och lerjord visar i båda fallen att temperaturen i överbyggnaden sällan understiger mer än några grader under fryspunkten trots en lufttemperatur uppmätt till -15°C (Wenck Associates 2014). Luften i porerna på den permeabla asfalten och dess genomsläppliga överbyggnad tycks bidra till att isolera jorden från luftens kyla och därmed behålla sin funktion även i kalla klimat. När temperaturen börjar stiga, svarar en nedkyld permeabel snabbare än en nedkyld tät asfalt och blir därmed varm fortare (Roseen et al. 2014).

2.3.2 Varma klimat

Enligt Eisenberg et al. (2015:17) är permeabel asfalt inte lämplig att använda i ett klimat med höga temperaturer året om. Anledningen till detta är att avsaknaden av finkornigt material i den permeabla asfalten som ger beläggningen sin genomsläppliga karaktär, kan resultera i att den permeabla asfalten förblir mjuk i en kontinuerligt hög temperatur. Det kan i sin tur få den permeabla asfaltens bindemedel att rinna ner i överbyggnaden. Detta resulterar i att den permeabla asfalten blir försvagad, men bindemedlet som hamnat i överbyggnaden kan också skapa ett tätt lager i botten av överbyggnaden som reducerar eller helt förhindrar infiltration av dagvatten (Eisenberg et al. 2015:56).

Permeabel asfalt håller sig svalare än tät asfalt i varma klimat då asfaltens och överbyggnadens luftfyllda porer reglerar värmeöverföringen från den varma luften (Lebens & Troyer 2012). Permeabel asfalt tillåter också vatten från underliggande mark att evaporera genom asfalten, vilket delvis kan motverka värmeöar (Fini et al. 2017) som lätt uppkommer i urbana miljöer med mycket hårdgjorda ytor.

2.3.3 Regniga klimat

Permeabel asfalt är ett lämpligt alternativ till tät asfalt i områden med ett ofta regnigt klimat (Senior-Arrieta & Graciano 2021). Detta på grund av den permeabla asfaltens förmåga att infiltrera dagvatten på körbanor som i annat fall kan orsaka vattenplaning och resultera i trafikolyckor.

Anläggning av permeabel asfalt kan däremot vara problematiskt i områden med frekvent nederbörd. Permeabel asfalt behöver kompakteras efter att den lagts ut för att uppnå den tålighet som krävs för anläggningens ändamål, och undvika skador som sprickor (Hashim et al. 2018). Kompakteringen behöver utföras innan den nylagda permeabla asfaltens temperatur sjunkit under 80°C för att vara effektiv. Vid regn sjunker temperaturen på den permeabla asfalten snabbt då vatten inte bara kyler ner ytan ovanifrån utan även inifrån genom att infiltrera ytans porer (Hashim et al. 2018). Fortsatt redovisas att permeabel asfalt i

genomsnitt kan kompakteras max 33 minuter efter att den är nylagd med avsaknad av nederbörd. Vid endast 2 mm nederbörd sjunker den permeabla asfaltens temperatur under 80°C på 31 sekunder (Hashim et al. 2018).

2.4 Omgivning

Permeabel asfalt kan påverkas negativt av partiklar som transporterats från angränsande ytor via dagvattnet. Dagvatten från ytor med vegetation eller lös jord kan öka skötselbehovet på en permeabel asfalt eftersom det ofta för med sig organiskt material eller sediment (Eisenberg et al. 2015). Samlingar av sand, exempelvis en strand kan ge ifrån sig sandpartiklar som sätter igen en närliggande permeabel asfalt (Eisenberg et al. 2015). Lövträd i anslutning till permeabel asfalt kan också försämra dess infiltrationsförmåga då stora mängder löv som faller på hösten också ger ifrån sig partiklar som kan sätta igen ytans porer (Eisenberg et al. 2015).

Träd och andra växter kan däremot gynnas av permeabel asfalt. Vatten som infiltreras genom permeabel asfalt blir tillgängligt för angränsande träd och växter (Eisenberg et al. 2015:4). Genom att tillåta vatteninfiltration och gasutbyte till deras rotzoner bidrar permeabel asfalt till växters vitalitet i urbana miljöer (Eisenberg et al. 2015:5). Permeabel asfalt fungerar även som buffertzoner runt träd och växtbäddar (Eisenberg et al. 2015:5). Buffertzoner fångar upp och tar till viss del till vara på näringsämnen och föroreningar som dagvattnet för med sig (National Research Council 2000:427).

Det spelar stor roll vilka sorter av träd som omger en permeabel asfalt. Träd med stora kronor kan skugga den permeabla asfalten och därmed kyla ner den, vilket är positivt (Eisenberg et al. 2015:172). Stora kronor kan däremot försämra sikt längs gator, vilket kan vara en trafikfara (Scholz & Uzomah 2013). Löv som faller på den permeabla asfalten kan leda till ett sämre väglag och därmed också anses som en trafikfara (Scholz & Uzomah 2013). Olika typer av fallfrukt och kottar kan utöver trädens löv även bidra till att sätta igen en permeabel asfalt (Scholz & Uzomah 2013). Vissa typer av träd har även rötter som kan skada den permeabla asfalten (Scholz & Uzomah 2013). Träd som *Aesculus hippocastanum* och *Salix babylonica* och arter av *Populus* är olämpliga att ha angränsande till en permeabel asfalt (Scholz 2015:293).

Vilken typ av infrastruktur eller företagsamhet som den permeabla asfalten angränsar till bör också tas i beaktning. På grund av risken för kontaminering av grundvattnet bör inte permeabel asfalt anläggas i anslutning till områden med ofta

högt förorenat dagvatten såsom bensinmackar, områden för fordonsservice och lagerlokaler för kemikalier (Mukherjee 2010).

På grund av den permeabla asfaltens infiltrationsförmåga bör hänsyn till underjordiska konstruktioner också tas. Permeabel asfalt bör inte anläggas ovanför konstruktioner under jord som kan påverkas av det infiltrerade vattnet, så som avloppsanläggningar, källare eller brunnar (Eisenberg et al. 2015:21). Permeabel asfalt bör heller inte anläggas närmare än 3 meter från husgrunder och källare om de inte är specifikt anpassade för det, då fuktskador kan inträffa (Eisenberg et al. 2015:21).

3. Diskussion

Syftet med detta arbete var att sammanställa i vilka situationer permeabel asfalt är ett lämpligt eller olämpligt alternativ till tät asfalt och varför. Arbetet undersökte vilka platsspecifika förhållanden och vilka användningsområden som optimerar den permeabla asfaltens livslängd och dess tekniska egenskaper som dagvattenlösning och transportyta. Genom att analysera litteratur och forskning inom området har olika aspekter som påverkar permeabel asfalt identifierats i resultatet.

Aspekter som påverkar livslängd och tekniska egenskaper på permeabel asfalt:

- Markförutsättningar
- Trafik
- Klimat
- Omgivning

3.1 Markförutsättningar

Som resultatet visar spelar markens jordart stor roll för dess lämplighet gällande anläggning av permeabel asfalt. Jordarter med grövre kornstorlekar har en mer stabil struktur än finkorniga jordar som lerjordar och siltjordar (Blombäck et al. 2021). I resultatet belystes flertalet problem med främst lerjordar.

Lerjordar har en låg infiltrationsförmåga (Kuruppu et al. 2019; Blombäck et al. 2021). Lerjordens infiltrationsförmåga kan också försämrats ytterligare av sättningar i marken (Blombäck et al. 2021), eller att aggregatstrukturen skadas av vägsalt (Berglund & Gustafson Bjurén 2008). Denna egenskap försvårar den permeabla asfaltens tekniska funktion, då syftet med den typen av anläggning som arbetet behandlar är att infiltrera dagvatten ner i underliggande mark.

Enligt Eisenberg et al. (2015) kan ett dräneringsrör implementeras i överbyggnaden för att transportera bort dagvatten som inte hinner infiltrera i

underliggande jord. Detta frångår en aning från den specifika typ av anläggning som arbetet fokuserar på. Anläggningen som Eisenberg et al. (2015) nämner har även den syftet att infiltrera vatten i marken, och transporterar endast bort vatten genom ett ledningssystem vid överflödiga volymer. En fråga som uppstår vid anläggningen av en sådant system är vid vilka vattenvolymer gränsen för överflödigt vatten ska gå. Om dagvatten ändå behöver transporteras vidare för att det inte hinner infiltrera underliggande mark, kanske inte en dagvattenlösning med infiltration som huvudsyfte ska anläggas på platsen.

Eftersom den genomsläppliga överbyggnaden har en hög lagringskapacitet (Dreelin et al. 2006), skulle den kunna användas istället för dräneringsrör. Genom att öka antingen porernas volym eller överbyggnadens djup kan anläggningen behålla sin funktion utan att transportera dagvatten som ändå behöver hanteras längre fram. En fördröjning av dagvattnet skulle avlasta den lokala dagvattenhanteringen, vilket i sin tur gynnar vårt samhälle.

Tyner et al. (2009) berättar också att lerjordars infiltrationsförmåga kan förbättras genom olika typer av behandlingar. Argumentet för att anlägga permeabel asfalt på lerjordar styrks ytterligare av Zhang och Kevern (2021) som menar att permeabel asfalt som anlagts på lerjordar tidigare har uppnått ett lyckat resultat som dagvattenlösning. Baserat på tidigare nämnda källor verkar inte lerjordens låga infiltrationsförmåga vara ett för stort hinder för att anlägga permeabel asfalt.

Både lerjordar och siltjordar får däremot en sämre bärighet desto mer vatten som infiltreras i jorden (Jones et al. 2010). Siltjordar har en relativt stabil struktur vid torrare tillstånd och aggregaten som bildas i lerjordar förstärker dess struktur också (Blombäck et al. 2021). Skillnaden på en tät terrass med en tät överbyggnad och en permeabel asfalt med genomsläpplig överbyggnad är att vatten tillåts infiltrera underliggande mark (Danz et al. 2020), vilket gör lerjordar och siltjordar väldigt känsliga för vertikalt tryck (Blombäck et al. 2021).

Utöver detta berättar också Kuruppu et al. (2019) att den genomsläppliga överbyggnaden är mer känslig för tunga laster än en tät överbyggnad. Permeabel asfalt har länge använts som underlag för gångtrafik och cyklar, men har på senare år börjat användas för mindre trafikvolymer av personbilar (Ndon 2017). Jones et al. (2010) menar att permeabel asfalt som är anlagt på finjordar klarar trafikvolymen och hastigheten som förekommer på parkeringsplatser, uppfarter, mindre tillfartsgator och vägrenar. Däremot riskerar aggregatstrukturen i lerjordar att skadas (Jones et al. 2010), vilket försämrar infiltrationsförmågan (Blombäck et al. 2021). Detta försämrar alltså den permeabla asfaltens tekniska egenskaper.

Grovjordar tycks vara ett bättre alternativ för att anlägga permeabel asfalt på. De har en högre infiltrationsförmåga och bärighet än finjordar (Larsson 2008;

Blombäck et al. 2021), vilket är fördelaktigt för den permeabla asfaltens tekniska egenskaper som dagvattenlösning och yta för fordons- och gångtrafik. Permeabel asfalt anlagd på grovjordar klarar även att infiltrera dagvatten mer effektivt i kalla klimat än permeabel asfalt anlagd på finjordar (Wenck Associates 2014).

Detta arbete fokuseras på permeabel asfalt med den tekniska funktionen att infiltrera dagvatten i underliggande terrass. Denna typ av anläggning bidrar till olika positiva konsekvenser, som att motverka sättningar i marken (Jiang et al. 2015), bidra med vatten till urban växtlighet (Eisenberg et al. 2015:4) och att avlasta stadens dagvattensystem (Stahre 2004; Woods-Ballard et al. 2015:11). Detta gör den permeabla asfalten till ett ekologiskt- och ett ekonomiskt hållbart alternativ. Ekologiskt hållbart eftersom växtlighet gynnas och därmed djur- och insektsliv, och ekonomiskt hållbart då sättningar som kan skada infrastruktur motverkas.

Däremot för dagvatten ofta med sig en hel del föroreningar (Jiang et al. 2015). Eisenberg et al. (2015) och Woods-Ballard et al. (2015) förespråkar en viss sträcka mellan grundvattnet och dagvattnet infiltrationspunkt för att minska kontamineringen av grundvattnet. Om inte denna separerande sträcka kan uppnås på givna plats är permeabel asfalt olämplig att anlägga enligt Jiang et al. (2015) och Selbig et al. (2019). Den givna sträckan som separerar infiltrationspunkten och grundvattnet kan enligt Eisenberg et al. (2015) variera. Däremot beskrivs 0,6 meter som ett generellt mått.

Ovanför vattentäkter där grundvatten används som dricksvatten gäller dock inte tidigare nämnda krav. Enligt tester utförda av Hammes et al. (2018) kan inte dagvatten som passerar genom permeabel asfalt renas tillräckligt mycket för att användas som dricksvatten.

För att anlägga permeabel asfalt behöver avståndet till grundvattnet uppnå det kravställda måttet eller 0,6 meter. Om grundvattnet används som dricksvatten är inte permeabel asfalt lämplig att anläggas, oavsett avståndet till grundvattnet.

3.2 Trafik

Kuruppu et al. (2019) belyser den permeabla asfaltens begränsade förmåga att bära upp tyngre laster eftersom dess genomsläppliga överbyggnad inte är packad. Kuruppu et al. (2019) och Guo et al. (2019) hävdar också att den permeabla asfaltens tekniska funktion att infiltrera vatten i underliggande terrass begränsar dess bärande förmåga ytterligare.

Blombäck et al. (2021), Eisenberg et al. (2015), Jones et al. (2010) och Kuruppu et al. (2019) nämner dock endast att finkorniga jordar får en försämrad bärighet av vatteninfiltration. Det beskrivs aldrig i någon litteratur som arbetet behandlat att bärigheten på grovkorniga jordar påverkas negativt av vatteninfiltration. Därmed tycks påståendet som Guo et al. (2019) nämner endast gälla på finkorniga jordar.

Idag används permeabel asfalt för gång- och cykeltrafik (Ndon 2017), samt för biltrafik av låg volym och hastighet (Eisenberg et al. 2015; Ndon 2017; Selbig et al. 2019). Tester utförda av Wang et al. (2018) visar att permeabel asfalt med en genomsläpplig överbyggnad klarar kriterierna för att bära upp medeltung trafik.

Det är svårt att jämföra vad de olika källorna hävdar är lämpliga trafikvolym och fordonsvikter för permeabel asfalt. Eisenberg et al. (2015) och Ndon (2017) lämnar det öppet för tolkning för läsaren vad låga trafikvolym betyder i praktiken. De tillsammans med Jones et al. (2010) och Selbig et al. (2019) ger däremot praktiska exempel på var permeabel asfalt är lämplig att använda, vilket ger ett mer konkret svar. Att jämföra deras rekommendationer med resultatet som Wang et al. (2018) fick fram i sin studie är dock problematiskt. Wang et al. (2018) fick fram hur många gånger ett visst axeltryck kunde appliceras på den permeabla asfalten innan spår bildades i ytan. Eftersom Eisenberg et al. (2015) och Ndon (2017) inte nämner några siffror för varken vikt eller mängd av fordon är dessa resultat ej jämförbara. Samtliga källor är dock överens om att permeabel asfalt inte är lämplig för tung trafik.

Permeabel asfalt är olämplig att bära trafik med dubbdäck eller snökedjor. De sliter på transportytan (Zhang & Kevern 2021) och bidrar till att försämra den permeabla asfaltens infiltrationsförmåga (Al-Rubaei et al. 2013). Utöver att sätta igen den permeabla asfalten utgör partiklarna som frigörs från transportytan en hälsorisk för oss människor, vilket gäller alla typer av asfalt (Naturvårdsverket 2023b).

Av den anledningen är det förbjudet att använda dubbdäck på en del gator i urbana områden (Polismyndigheten 2022). Dessa dubbdäckfria zoner är ett lämpligt alternativ för anläggning av permeabel asfalt då dubbdäck ändå inte bör användas på ytan.

3.3 Klimat

Det finns olika uppfattningar om hur klimat påverkar permeabel asfalt. Kuruppu et al. (2019) förklarar att forskning kring permeabel asfalt är motstridig då vissa studier påstår att den kan skadas av låga temperaturer, medan andra tyder på en hög resistens mot kyla. Al-Rubaei et al. (2013) menar till och med att permeabel

asfalt är bättre på att hantera låga temperaturer än en tät asfalt. Detta stöds av tester utförda av Wenck Associates (2014) som visar att vatten i överbyggnaden under den permeabla asfalten sällan fryser trots att temperaturer långt under fryspunkten uppmättes i luften.

Forskningen Kuruppu et al. (2019) hänvisar till, som antyder att permeabel asfalt kan skadas av låga temperaturer har inte varit tillgänglig att läsas under detta arbete. Det gör det svårt att argumentera för kalla temperaturers negativa effekt på permeabel asfalt. De studier som har hittats och analyserats under arbetets gång har argumentation och forskningsresultat som tyder på att permeabel asfalt är lämpligt i kalla klimat.

Halkbekämpning är inte i sig en faktor av klimatet som påverkar permeabel asfalt. Däremot används ofta olika typer av halkbekämpning i kalla klimat, så det kan betraktas som en sekundär faktor av klimatet.

Åsikter kring vägsalt på permeabel asfalt är även de skilda. Kuruppu et al. (2019) menar att permeabel asfalt anses olämpligt att anlägga i kalla klimat på grund av komplikationer som uppstår genom användning av vägsalt. Roseen et al. (2014) påvisar dock att permeabel asfalt behöver en mycket mindre mängd salt jämfört med en tät asfalt. Salt som påförs för att bekämpa halka på tät asfalt läcker också ut och påverkar miljön negativt (Dietz et al. 2017). Det är därmed mer ekologiskt hållbart att anlägga permeabel asfalt, då mindre mängder av vägsalt kan läcka ut. Dock kan det anses oetiskt att släppa ut salt överhuvudtaget som kan läcka ut i naturområden och vattendrag och orsaka skada.

Kuruppu et al. (2019) förklarar att det är saltets negativa påverkan på miljön som gör det olämpligt att använda på permeabel asfalt. Ur ett tekniskt perspektiv är vägsalt väldigt effektivt på permeabel asfalt, vilket Roseen et al. (2014) beskriver. Eftersom arbetet ämnar komma fram till var permeabel asfalt är ett lämpligt alternativ till tät asfalt måste ett fast scenario för varje faktor vara utgångspunkten. En befintlig gata av tät asfalt som redan saltas årligen skulle behöva en mindre mängd vägsalt, men behålla samma tekniska funktion som transportyta om den ersattes av permeabel asfalt.

Studier utförda av Wenck Associates (2014) visar till och med att permeabel asfalt som endast plogas kan uppnå samma resultat som en tät asfalt som både plogas och saltas. Det finns däremot en osäkerhet kring hur lång tid det tar innan den snö och is som kvarstår på ytan efter plogning smälter och infiltreras (Wenck Associates 2014). Det kan bli ett problem för samhället om gator förblir hala en okänt lång tid efter plogning, då de inte är helt trafiksäkra. Men baserat på deras studier skulle gator av tät asfalt som vanligtvis saltas kunna ersättas med

permeabel asfalt, vilket skulle bidra till en minskning eller helt upphörande av saltning.

Det finns även andra metoder för att hantera halka på gator. Sand och grus som används för halkbekämpning har inte samma negativa påverkan på miljön som vägsalt. Många artiklar behandlar däremot igensättning av permeabel asfalt, vilket Al-Rubaei et al. (2013) berättar ofta beror på användning av sand och mindre grusfraktioner som halkbekämpning. Permeabel asfalt som är helt igensatt är svårt att återställa till dess optimala infiltrationsförmåga (Danz et al. 2020), vilket betyder att dess livslängd förkortas avsevärt. Gator som sandas och grusas med mindre grusfraktioner är därmed olämpliga för permeabel asfalt, då dess infiltrationsförmåga försämras och dess livslängd förkortas.

Sand och grus som utvinns från naturliga miljöer är en ändlig resurs (Nyberg & Ising 2022). Det är svårt att säga hur mycket av sanden och gruset som används för halkbekämpning, som är utvunnet från naturliga miljöer och hur mycket som tillverkats av krossat berg. En reducerad användning av dessa material är dock fördelaktig, då det minskar efterfrågan på både bergkross och material utvunnet från naturen.

Permeabel asfalt ska som tidigare nämnt inte anläggas på gator som använder sand och mindre fraktioner av grus som halkbekämpning. På gator som använder sig av en kombinerad halkbekämpning av dessa material och salt skulle dock sand och grus vara överflödigt om transportytan ersattes av permeabel asfalt. Detta eftersom permeabel asfalt presterar väldigt bra som transportyta utan dessa typer av halkbekämpning (Roseen et al. 2014). Att ersätta en tät asfaltsyta med permeabel asfalt skulle därmed kunna reducera användningen av ändliga resurser.

Som tidigare nämnd forskning visar är permeabel asfalt lämplig att anlägga i kalla klimat. Metoden som används för halkbekämpning är däremot avgörande för den permeabla asfaltens livslängd och tekniska funktion inom dagvattenhantering.

Den optimala temperaturen för permeabel asfalt tycks vara medelhög värme. Shadman och Ziari (2017) förklarar att vid 22°C har permeabel asfalt lägre risk att spricka under belastning än vid temperaturer under 0°C. Vid denna medelhöga temperatur riskerar inte heller den permeabla asfaltens bindemedel att anta flytande form, vilket Eisenberg et al. (2015) beskriver kan hända i kontinuerligt varma klimat. Permeabel asfalt får också lättare spårbildningar av tyngre fordon vid höga temperaturer (Wang et al. 2018).

Däremot menar Lebens och Troyer (2012) att permeabel asfalt har förmågan att hålla sig sval genom att luften in dess porer isolerar från värmen. Detta är likt hur Wenck Associates (2014) förklarar att permeabel asfalt håller sig varmare än

luftens temperatur i kalla klimat. Enligt Fini et al. (2017) kyls permeabel asfalt också ner av att vatten från underliggande mark evaporerar genom anläggningen. Detta är ett argument för att anlägga permeabel asfalt i varma klimat, då evaporationen också kylar ner luften och motverkar värmeöar (Fini et al. 2017). I ständigt varma klimat kan det däremot vara torrt och finnas brist på vatten som kan evaporera.

Permeabel asfalt lämpar sig dock väl i klimat med mycket regn, eftersom dess syfte är att infiltrera vatten (Senior-Arrieta & Graciano 2021). Däremot finns problematik kring anläggning av permeabel asfalt i regniga klimat (Hashim et al. 2018). Eftersom detta arbete ämnar undersöka var permeabel asfalt är en lämplig dagvattenlösning, bedöms platser med regniga klimat som lämpliga. Anläggningsprocessen berörs inte i detta arbete, endast slutprodukten.

3.4 Omgivning

Vilka typer av ytor som angränsar till den permeabla asfalten är viktigt att ha i åtanke. Ytor med sand är olämpligt att ha angränsande till en permeabel asfalt (Eisenberg et al. 2015) liksom Al-Rubaei et al. (2013) menar att sand och mindre grusfraktioner som används vid halkbekämpning är olämpligt att applicera på ytan. Lösa markpartiklar, löv och fallfrukt påverkar den permeabla asfalten negativt (Eisenberg et al. 2015).

Det finns en del negativa aspekter med att ha växtlighet intill permeabel asfalt. Ytor med vegetation kan ge ifrån sig organiskt material och lös jord vilket bidrar till att sätta igen den permeabla asfalten (Eisenberg et al. 2015). Scholz och Uzomah (2013) menar att träd i anslutning till permeabel asfalt resulterar i att ytan kräver mer underhåll. De förklarar också att vissa rötter från träd kan skada den permeabla asfalten. Det verkar därför vara ovist att anlägga permeabel asfalt i anslutning till trädarter som avger stora volymer löv och fallfrukt, samt arter med starkt växande rötter. De flesta negativa aspekter som relaterar till växtlighet tycks resultera i att skötselbehovet för den permeabla asfalten ökar.

Växtlighet kan däremot bidra till att optimera den permeabla asfaltens tekniska förmåga. Trädskuggor som skuggar den permeabla asfalten kylar därmed ner den (Eisenberg et al. 2015:172). Enligt Wang et al. (2018) utvecklar permeabel asfalt lättare spårbildningar i högre temperaturer. Eisenberg et al. (2015) menar också att ständigt höga temperaturer försvagar den permeabla asfalten. Dessa negativa effekter kan motverkas delvis med hjälp av att närliggande träd skuggar den permeabla asfalten.

Utöver att sänka temperaturen på den permeabla asfalten bidrar växtlighet också till dagvattenhantering. Vatten som infiltreras genom den permeabla asfalten upptas delvis av växternas rötter (Eisenberg et al. 2015:4). Detta gör att den permeabla asfalten kan infiltrera större volymer dagvatten om den angränsar till växtlighet. Därmed har växtlighet en positiv inverkan på den tekniska funktionen av permeabel asfalt som dagvattenlösning.

Sammanfattningsvis gällande permeabel asfalt och växtlighet bidrar växtlighet till anläggningens tekniska funktion och hållbarhet. Växtlighet ökar dock skötselbehovet av transportytan. Om skötselbehovet inte möts kommer den permeabla asfalten att sättas igen vilket gör att den förlorar sin tekniska funktion som dagvattenlösning. I dessa fall är permeabel olämplig att anlägga i anslutning till växtlighet. Om skötselbehoven möts gynnas dock den permeabla asfalten av växtligheten. Det betyder att permeabel asfalt är lämplig att anlägga på gator med tillräckligt hög skötselnivå att löv och fallfrukt inte sätter igen dess porer.

3.5 Exempel på användning

Permeabel asfalt har en stor potential att användas på många olika typer av platser. Flygplatsen Arlanda, Stockholm har ytor av permeabel asfalt som anlades år 1992 (Thorsell & Granath 2016). Parkeringen för ICA Maxi Gnista, Uppsala är även den anlagd med permeabel asfalt (van Der Nat et al. 2018). Stora arealer av hårdgjorda ytor som flygplatser och stora parkeringar bör rimligtvis ha lättare att få stående vatten på dess ytor. Detta eftersom dagvattnet som bildas på ytan har en lång transportsträcka att färdas innan det når genomsläpplig mark. Dessa typer av ytor är ett bra alternativ för anläggning av permeabel asfalt, som då kan motverka att vatten ansamlas på ytan. På parkeringsplatser är hastigheten också i regel låg, vilket är lämpligt för permeabel asfalt.

Många vägar i Sverige är anlagda utmed sjöar och vattendrag, vilket gör att de kan stoppa flödet av dag- och markvatten som naturligt flödar mot dessa (Trafikverket 2020). Permeabel asfalt skulle i dessa fall tillåta vattnets rörelse på ett mer naturligt sätt, då både dess yta och överbyggnad är genomsläppliga. På samma sätt skulle ledstråk av permeabel asfalt i naturområden kunna erbjuda tillgänglighet i naturen, utan att påverka vattnets naturliga kretslopp.

I princip alla gång- och cykelvägar skulle potentiellt kunna anläggas med permeabel asfalt. De behöver varken utstå tunga laster eller hårt slitage, vilket gör dem till lämpliga alternativ för anläggning av permeabel asfalt. I helt hårdgjorda gaturum inom urban miljö skulle cykelbanor och trottoarer möjligtvis kunna

fungera som avvattningsytor. På detta sett behöver inte all nederbörd ledas till dagvattenbrunnar, utan kan infiltreras över en större yta.

3.6 Metoddiskussion

I syfte att samla information och sammanställa vilka platsspecifika faktorer som avgör lämpligheten för anläggning av permeabel asfalt användes vetenskapliga artiklar och böcker. Huvudsyftet med detta material var sällan att analysera platsspecifika faktorer som påverkar alla typer av permeabel asfalt. Litteraturen handlade ofta om hur man genom olika recept, konstruktioner och material kan förbättra den permeabla asfalten i situationer där den fungerade sämre. Mycket litteratur behandlade också vilka skötselåtgärder som kan användas för att behålla eller återställa den permeabla asfaltens tekniska egenskaper inom dagvattenhantering.

För att kunna svara på frågeställningen i detta arbete skulle de mest lämpade variationerna av permeabel asfalt inom varje kategori behöva testas och analyseras. Permeabel asfalt verkar ännu utvecklas och utvärderas som ett alternativ till tät asfalt. Svaret på frågeställningen blir därefter svårt att ge ett exakt svar på.

3.7 Framtida forskning

Inga artiklar som berör bärighet av grovjordar under permeabel asfalt kunde hittas. Det skulle vara intressant att jämföra hur höga trafikvolym och hastigheter olika typer av jordar under permeabel asfalt kan klara av.

Forskning kring hur permeabel asfalt kan anläggas i regniga klimat utan att kylas ner under anläggningens process skulle vara fördelaktigt. Permeabel asfalt är väldigt lämpad i regniga miljöer men det är problematiskt att anlägga i dessa.

Permeabel asfalt är en användbar typ av dagvattenlösning eftersom den kombinerar infiltration av dagvatten samtidigt som den bidrar till en tillgänglig yta. Vidare forskning av permeabel asfalt skulle gynna samhället och ge en högre social hållbarhet. I dagens samhälle är tillgänglighet en viktig aspekt. Konventionella hårdgjorda ytor bidrar med en högre tillgänglighet men ökar mängden dagvatten i våra samhällen. Genom att ersätta dessa ytor med permeabel asfalt kan tillgängligheten kvarstå och mängden dagvatten minska.

3.8 Slutsats

- Permeabel asfalt är lämplig att anlägga på finjordar om inte det vertikala trycket från anläggningen och dess användning överstiger jordens bärighet. Mer optimalt är att anlägga permeabel asfalt på grovjordar.
- Permeabel asfalt är olämplig att anlägga på platser med en hög grundvattenyta eller berggrund. Detta gäller om avståndet mellan överbyggnadens botten och underliggande högsta grundvattenyta understiger det lokala eller statliga minimiavståndet, eller 0,6 meter i annat fall.
- Permeabel asfalt är olämplig att anlägga om underliggande grundvatten används som dricksvatten.
- Permeabel asfalt är lämplig för gång- och cykeltrafik, samt biltrafik av låg volym och en hastighet upp till 55 km/h.
- Permeabel asfalt är olämplig för tung trafik.
- Permeabel asfalt är olämpligt underlag för fordon med dubbdäck och snökedjor.
- Permeabel asfalt är mest lämpad i klimat med medelhöga temperaturer (runt 22°C). Den mesta forskningen tyder på att permeabel asfalt även är applicerbar i kalla klimat. Det är däremot inte lämpligt att anlägga permeabel asfalt i klimat med ständigt hög värme.
- Permeabel asfalt är ett lämpligt alternativ till tät asfalt på gator som använder vägsalt som halkbekämpning, då de kräver antingen inget eller väldigt lite salt i jämförelse. Gator som använder större fraktioner av grus som halkbekämpning är även de lämpliga, men inte de som använder sand.
- Permeabel asfalt är lämplig i ofta regniga klimat.
- Permeabel asfalt är inte lämplig att anlägga intill stränder eller andra ytor med mycket lösa partiklar som sand eller jord.
- Permeabel asfalt är lämplig att anlägga i anslutning till växtlighet om transportytans skötselbehov uppfylls. Om inte extra skötselåtgärder fastställs på grund av den intilliggande växtligheten, är permeabel asfalt olämplig att anlägga.

- Permeabel asfalt är olämplig att anlägga ovanför underjordiska konstruktioner som påverkas av vatteninfiltration.
- Permeabel asfalt bör inte anläggas närmare än 3 meter från husgrunder och källare om de inte är specifikt anpassade för det.

Referenser

- Al-Rubaei, A.M., Stenglein, A.L., Viklander, M. & Blecken, G.-T. (2013). Long-Term Hydraulic Performance of Porous Asphalt Pavements in Northern Sweden. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139 (6), 499–505. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000569](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000569)
- Berglund, K. & Gustafson Bjur us, A. (2008). *Markstrukturtest i f lt*. Institutionen f r markvetenskap, Avdelningen f r hydroteknik, SLU. <https://pub.epsilon.slu.se/id/document/1893> [2024-02-18]
- Blombäck, K., Dahlin, S. & Eriksson, J. (2021). *Markvetenskap f r landskapsarkitekt- och landskapsingenj rsutbildningarna i Uppsala*. Institutionen f r mark och milj , SLU.
- Borst, M. & Brown, R.A. (2014). Chloride Released from Three Permeable Pavement Surfaces after Winter Salt Application. *Journal of the American Water Resources Association*, 50 (1), 29–41. <https://doi.org/10.1111/jawr.12132>
- Danz, M.E., Selbig, W.R. & Buer, N.H. (2020). Assessment of Restorative Maintenance Practices on the Infiltration Capacity of Permeable Pavement. *Water*, 12 (6). <https://doi.org/10.3390/w12061563>
- van Der Nat, D., Gustafsson, A. & Str e, D. (2018). *Underlag till lokalt  tg rdsprogram f r  rstaviken*. (2017-1178–2). Water Revival Systems. <https://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/vatten/sjoar/%C3%85rstaviken/Underlag-L%C3%85P-%C3%85rstaviken-ekologisk-kemisk-status-2017.pdf>
- Dietz, M.E., Angel, D.R., Robbins, G.A. & McNaboe, L.A. (2017). Permeable Asphalt: A New Tool to Reduce Road Salt Contamination of Groundwater in Urban Areas. *Groundwater*, 55 (2), 237–243. <https://doi.org/10.1111/gwat.12454>
- Dreelin, E.A., Fowler, L. & Carroll, C.R. (2006). A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events. *Water Research*, 40 (4), 799–805. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.12.002>
- Eisenberg, B., Lindow, K.C., Smith, D.R., & Permeable Pavements Task Committee (2015). *Permeable pavements*. American Society of Civil Engineers Reston, Virginia. (Knovel Library)
- Fini, A., Frangi, P., Mori, J., Donzelli, D. & Ferrini, F. (2017). Nature based solutions to mitigate soil sealing in urban areas: Results from a 4-year study comparing permeable, porous, and impermeable pavements. *Environmental Research*, 156, 443–454. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.032>
- Foster, K. & Olsson, J. (2014). Short-term precipitation extremes in regional climate simulations for Sweden. *Hydrology research.*, 45

- Gelashvili, G. (2006). Hydrogeology and Engineering Geology of the "Sleeping District" (Varketili) of Tbilisi, Georgia. Tellam, J.H., Rivett, M.O., Israfilov, R.G., & Herringshaw, L.G. (red.), Dordrecht, 2006. 401–408. Springer Netherlands
- Guo, X., Zhang, J., Zhou, B., Liu, W., Pei, J. & Guan, Y. (2019). Sponge roads: The permeable asphalt pavement structures based on rainfall characteristics in central plains urban agglomeration of China. *Water Science and Technology*, 80. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.426>
- Hammes, G., Thives, L.P. & Ghisi, E. (2018). Application of stormwater collected from porous asphalt pavements for non-potable uses in buildings. *Journal of Environmental Management*, 222, 338–347. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.094>
- Hamzah, M.O., Samat, M.M., Joon, K.H., Muniandy, R., Tech, D. & Bangwha2-dong, G. (2004). Modification of aggregate grading for porous asphalt., 2004. <http://eprints.usm.my/14317/1/paper.pdf>
- Hashim, W., Noor, M.N.M., Shaffie, E., Rahman, Z.A. & Arshad, A.K. (2018). *Cooling time of porous asphalt pavement affecting compaction process due to various raining condition*. 012070. IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/140/1/012070/meta> [2024-02-26]
- Jiang, W., Sha, A., Xiao, J., Li, Y. & Huang, Y. (2015). Experimental study on filtration effect and mechanism of pavement runoff in permeable asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 100, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.055>
- Jones, D., Harvey, J.T., Li, H., Wang, T., Rongzong, W., Campbell, M.M., California Department of Transportation Division of Environmental Analysis Storm Water Program, University of California, D.I. of T.S. & University of California, D.D. of C. and E.E. (2010). *Laboratory testing and modeling for structural performance of fully permeable pavements : final report*. Institute of Transportation Studies, University of California, Davis Davis, Calif. <http://www.ucprc.ucdavis.edu/PDF/UCPRC-RR-2010-01.pdf>
- Kuruppu, U., Rahman, A. & Rahman, M.A. (2019). Permeable pavement as a stormwater best management practice: a review and discussion. *Environmental earth sciences*, 78 (10), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8312-2>
- Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper*. Statens geotekniska institut. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1299902/FULLTEXT01.pdf> [2024-02-16]
- Lebens, M.A. & Troyer, B. (2012). *Porous asphalt pavement performance in cold regions*. (MN/RC 2012-12). Minnesota Department of Transportation Office of Materials and Road Research. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=1e862a046df9d3c9380bba1ff092dc45c53867e6> [2024-02-26]
- Mukherjee, D. (2010). Manage Storm Water by Using Porous Pavement. *Journal of Mechanical Engineering*, 11, 1–3

- National Research Council (2000). *Watershed Management for Potable Water Supply: Assessing the New York City Strategy*. The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/9677>
- Naturvårdsverket (2023a). *Klimatförändringarna påverkar möjligheterna att nå miljö- och samhällsmål*. Naturvårdsverket.se. <https://www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/sveriges-miljomal/fordjupad-utvardering-av-sveriges-miljomal-2023/klimatforandringarna-paverkar-mojligheterna-att-na-miljo--och-samhallsmaal/> [2024-02-19]
- Naturvårdsverket (2023b). *Vinterdäck*.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/luft/styrmedel-och-atgarder/vinterdack/> [2024-03-19]
- Ndon, U. (2017). Trends in the Application of Permeable Pavement as Sustainable Highway Storm Water Management Option for Safe-Use of Roadways. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 07. <https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000288>
- Nyberg, J. & Ising, J. (2022). Materialförsörjning till klimatanpassningsåtgärder -. *Sveriges Geologiska Institut*.,
<https://www.sgu.se/globalassets/samhallsplanering/risker/kusterosion-pdf/materialforsorjning-till-klimatanpassningsatgarder-.pdf>
- Pezzaniti, D., Beecham, S. & Kandasamy, J. (2009). Influence of clogging on the effective life of permeable pavements. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 162 (3), 211–220.
<https://doi.org/10.1680/wama.2009.00034>
- Polismyndigheten (2022). *Vinter- och somnardäck | Polismyndigheten*. *polisen.se*.
<https://polisen.se/link/711cde79121747a7bf79ee4039e0a2a6> [2024-03-19]
- Regeringskansliet, R. och (2016). *Agenda 2030 för hållbar utveckling*. Regeringskansliet. [Text]. <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/globala-malen-och-agenda-2030/> [2024-02-19]
- Roseen, R.M., Ballesterro, T.P., Houle, K.M., Heath, D. & Houle, J.J. (2014). Assessment of Winter Maintenance of Porous Asphalt and Its Function for Chloride Source Control. *Journal of Transportation Engineering*, 140 (2).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000618](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000618)
- Scholz, M. (2015). *Wetland Systems to Control Urban Runoff*. Elsevier.
- Scholz, M. & Uzomah, V.C. (2013). Rapid decision support tool based on novel ecosystem service variables for retrofitting of permeable pavement systems in the presence of trees. *Science of The Total Environment*, 458–460, 486–498.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.062>
- Selbig, W.R., Buer, N. & Danz, M.E. (2019). Stormwater-quality performance of lined permeable pavement systems. *Journal of Environmental Management*, 251, 109510. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109510>
- Senior-Arrieta, V. & Graciano, C. (2021). A review of design, construction, and performance of permeable asphalt mixes in rainy countries: case of Colombia. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 14 (3), 334–347.
<https://doi.org/10.1007/s42947-020-0023-2>

- SGU (2020). *Vatten*. *sgu.se*. <https://www.sgu.se/om-geologi/vatten/> [2024-03-14]
- Shadman, M. & Ziari, H. (2017). Laboratory evaluation of fatigue life characteristics of polymer modified porous asphalt: A dissipated energy approach. *Construction and Building Materials*, 138, 434–440.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.043>
- Stahre, P. (2004). *En långsiktigt hållbar dagvattenhantering : planering och exempel*. Svenskt vatten.
- Thorsell, A. & Granath, M. (2016). Infiltrationsförsök genomsläpplig asfalt. *Water Revival Systems*,. https://wrs.se/wp-content/uploads/2017/10/Infiltrationsf%C3%B6rs%C3%B6k-genomsl%C3%A4pplig-asfalt_WRS-AB_2016.pdf
- Trafikverket (2020). *Vägen och vattnet*. Trafikverket. [text].
<https://bransch.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/Miljo-och-halsa/Vatten-och-mark/Vagen-och-vattnet/> [2024-04-27]
- Transportstyrelsen (2023). *Tillåtet axel-, boggi- och trippelaxeltryck - Transportstyrelsen*. <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/yrkestrafik/gods-och-buss/matt-och-vikt/viktbestamnelser/tillatet-axel-boggi-och-trippelaxeltryck/> [2024-02-18]
- Tyner, J.S., Wright, W.C. & Dobbs, P.A. (2009). Increasing exfiltration from pervious concrete and temperature monitoring. *Journal of Environmental Management*, 90 (8), 2636–2641. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.02.007>
- Wang, X., Gu, X., Dong, Q., Wu, J. & Jiang, J. (2018). Evaluation of permanent deformation of multilayer porous asphalt courses using an advanced multiply-repeated load test. *Construction and Building Materials*, 160, 19–29.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.028>
- Weiss, P.T., Khazanovich, L., Gulliver, J.S. & Kayhanian, M. (2019). Permeable pavement in northern North American urban areas: research review and knowledge gaps. *International Journal of Pavement Engineering*, 20 (2), 143–162. <https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1279482>
- Wenck Associates (2014). Porous pavement paired intersection study. *Shingle Creek Watershed Management Commission and the Minnesota Pollution Control Agency*,.
http://www.shinglecreek.org/uploads/5/7/7/6/57762663/paired_intersection_study_final_report.pdf
- Winston, R.J., Davidson-Bennett, K.M. & Buccier, K.M. (2016). Seasonal Variability in Stormwater Quality Treatment of Permeable Pavements Situated Over Heavy Clay and in a Cold Climate. *Water Air Soil Pollut*, (227).
<https://doi.org/10.1007/s11270-016-2839-6>
- Woods-Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Ashley, R. & Kellhager, R. (2015). *The SuDS Manual*. 5. uppl. CIRIA.
<http://www.scotsnet.org.uk/documents/NRDG/CIRIA-report-C753-the-SuDS-manual-v6.pdf> [2024-01-26]
- Zhang, K. & Kevern, J. (2021). Review of porous asphalt pavements in cold regions: the state of practice and case study repository in design, construction, and

maintenance. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 2 (1), 4.
<https://doi.org/10.1186/s43065-021-00017-2>

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.