

Thesis 389

Multifunktionella ytor

Ahmad Matroud

Naser Mansoor

Trafik och Väg
Institutionen för Teknik och Samhälle
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet



Copyright © Ahmad Matroud & Naser Mansoor

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle

CODEN: LUTVDG/(TVTT-5356)/1-105/2024

ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet

Lund 2024

Examensarbete

CODEN: LUTVDG/(TVTT-5356)/1-
78/2024

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,
Institutionen för Teknik och samhälle,
Trafik och väg, 389

ISSN 1653-1922

Author(s): Ahmad Matroud
Naser Mansoor
Title: Multifunktionella ytor
English title: Multifunctional surfaces
Language: Swedish
Year: 2024
Keywords: Blågröna system; Skelettjord; Vägbyggnad; Bärighet; Fallvikt;
BGG
Citation: Matroud & Mansoor, Multifunktionella ytor. Lund, Lunds
universitet, LTH, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik
och väg 2023. Thesis. 389

Abstract:

In road construction there have been minimal changes to the construction approach since the time of the Roman empire, until the time of McAdam. McAdam's philosophy included an impermeable and raised superstructure in relation to the surrounding surfaces to minimize the water effects on the construction. In view of today's challenges with climate change, however, new thinking is required in road construction to meet multiple needs in one tool. One of the main tools available today is a so-called blue-green surface. It is difficult to determine how loadbearing capacity is affected by such new constructions, water is still considered to be the road's worst enemy. The experience from such projects is still limited today. In this essay, the loadbearing capacity in blue-green solutions will be analyzed and compared to conventional surfaces. In general, the results show that blue-green solutions are acceptable from a load-bearing point of view, and they also contribute other functions to the built environment than conventional surfaces do not. Among other things, extreme downpours can be counteracted, which is important in relation to the ongoing climate change. The asphalt is considered to provide an addition to the stiffness of multi-functional surfaces.

Trafik och väg
Institutionen för Teknik och samhälle
Lunds Tekniska Högskola, LTH
Lunds Universitet
Box 118, 221 00 LUND

Transport and Roads
Department of Technology and Society
Faculty of Engineering, LTH
Lund University
Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

Innehållsförteckning

1.	Inledning	1
1.1.	Bakgrund	1
1.2.	Syfte och frågeställning	2
1.3.	Metodbeskrivning	2
1.4.	Avgränsning	2
1.5.	Rapportens disposition	3
2.	Litteraturstudie	4
2.1.	Vägkonstruktion	4
2.1.1.	Historisk tillbakablick	4
2.1.2.	1800-talet präglar dagens tänk	5
2.1.3.	Vägbyggnadstekniken idag	7
2.2.	Vägens nedbrytning	12
2.2.1.	Temperatur	12
2.2.2.	Trafiklaster	13
2.2.3.	Nederbörd	13
2.3.	Klimatförändringar	14
2.3.1.	Temperatur	14
2.3.2.	Nederbörd och översvänningsrisk	15
2.3.3.	Tjällossning	15
2.4.	Mekanismer som motverkar nedbrytning	16
2.4.1.	Överbyggnaden	16
2.4.2.	Undergrunden	18
2.5.	Multifunktionella ytor	19
2.5.1.	BGG-system	20
2.6.	Bärighetsutvärdering	30
2.6.1.	Fallvikt	30
2.6.2.	Statisk plattbelastning	34
2.6.3.	Okulärbesiktning	36
2.7.	Tidigare erfarenheter	37
2.7.1.	HVS – provning på dränerande överbyggnader	37
2.7.2.	Multifunktionella urbana dagvattenanläggningar	40
2.7.3.	Borrebackevägen	44
2.7.4.	Sammanställning av tidigare erfarenheter	46

3.	Utförda undersökningar	48
3.1.	Fallvikt	48
3.1.1.	Gjuteriet	48
3.1.2.	Cementen	51
3.1.3.	Grönare Möllan	52
3.1.4.	Nobelvägen	54
3.1.5.	Borrebackevägen	55
3.1.6.	Utförande av fallviktsmätning	55
3.1.7.	Kontroll av mätdata	55
3.2.	Regressionsanalys	56
4.	Resultat	57
4.1.	Linjaritetskontroll	57
4.2.	Deflektionsbassänger	57
4.3.	Ytmoduler	58
4.3.1.	Skelettjordskonstruktioner	59
4.3.2.	Öppen överbyggnad	59
4.3.3.	Täta ytor med dränerande funktion	60
4.4.	Töjning för asfaltunderkant	60
4.4.1.	Skelettjordskonstruktioner	60
4.4.2.	Öppen överbyggnad	61
4.4.3.	Täta ytor med dränerande funktion	63
4.5.	BCI	63
4.6.	Tidens inverkan på öppna överbyggnader	65
5.	Diskussion och slutsatser	66
5.1.	Resultatdiskussion	66
5.1.1.	Skelettjordskonstruktioner	66
5.1.2.	Öppna överbyggnader	67
5.1.3.	Täta överbyggnader med dränerande funktion	67
5.1.4.	Tidens inverkan på öppna överbyggnader	67
5.2.	Metoddiskussion	68
6.	Slutsatser	70
6.1.1.	Rekommendationer	71
7.	Referenser	72
8.	Bilagor	79

Förord

Detta examensarbete är ett avslutande kapitel på Civilingenjörsprogrammet i Väg- och vattenbyggnad vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet skrevs på avdelning Trafik och väg i samarbete med Malmö stad.

Väg är ett ämne nära till hjärtat och har varit det redan från början, att avsluta med ett examensarbete som behandlar detta ämne är därför inte underligt. Allt från det ”svarta äckliga” bitumenmedlet, till samkrossen och allt vad vägen innefattar. Vägens livscykel är unik och komplex, och det är därför väldigt roligt att kunna fördjupa sig i detta ämne. Multifunktionella ytor är dessutom nya konstruktioner som kan motverka de pågående klimatförändringarna, detta är en viktig uppgift för att värna om vår planet och samtidigt klimatanpassa våra städer.

Vi fick en ordentlig push av vår käre handledare Pajtim Sulejmani som bidrog till goda diskussioner och kunskap kring verkligheten. Utöver detta fick vi även hjälp av vår underbara lektor Sven Agardh för att komma rätt med vårt arbete, stort tack för hjälpen. Dessutom blev det massvis med diskussioner kring multifunktionella ytor och klimatförändringar med kollegorna från Malmö stad, ett stort tack riktas till stjärnorna Pär Svensson och Michael Barone bland andra.

Vi vill tacka våra underbara familjer, kollegor och kurskamrater för gott engagemang och stöttning genom årens gång. För oss betyder detta ett stort avslutande kapitel i livet, men även en början på ett nytt kapitel och därmed nya kommande äventyr.

Ett passande avslut, minst sagt.

Lund, december 2023

Ahmad Matrouf & Naser Mansoor

Sammanfattning

De första planerade vägarna kan enligt historiker hittas under romarrikets tid, och där har drivkraften med vägbyggnaden varit att gynna handeln, krigföringen men även transporten. Sedan romarrikets tid har sättet att bygga vägar inte ändrats i någon större grad på. Detta gällde tills McAdam dök upp med en revolution. Denna revolution gick ut på att höja vägoöverbyggnaden gentemot omgivande ytor och samtidigt se till att vägen var tät för att motverka att vatten tog sig in i överbyggnadens nedre lager. Dessutom utnyttjade McAdam till skillnad från sina föregångare alla stenfraktioner, även nollfraktionerna. Detta sätt präglar oss än idag. Med hänsyn till dagens utmaningar med klimatförändringar krävs däremot ett paradigmskifte för att tillgodose flera funktioner i en enda konstruktion. Denna typ av konstruktion kallas idag för multifunktionella ytor.

Vägbyggnadsbranschen är än pessimistisk till att testa dessa konstruktioner i samhället. Det är bland annat svårt att avgöra hur bärigheten påverkas, vattnet anses ju fortfarande vara vägens största fiende. Erfarenheten från sådana projekt är begränsad än idag. I denna studie analyseras och jämförs bärighet mellan de multifunktionella ytorna och konventionella ytor. Bärigheten utvärderas i denna studie med hjälp av fallviktsapparat, som simulerar en tung lastbils belastning på vägen.

Resultaten från fallvikten visade att skelettjordsytor hade godtagbara bärighetsresultat utifrån de finska riktvärdena för lågtrafikerade ytor. Resultaten visade på att bärigheten för multifunktionella ytor i regel var lägre i förhållande till de konventionella överbyggnaderna. Detta samband gällde inte för en väg, Borrebackevägen, där dränerande överbyggnaden en likartad styvhet som den konventionella ytan. Detta kan förklaras med att den dränerande överbyggnaden hade betydligt tjockare asfaltslager jämfört med den konventionella ytan. Tjockare asfaltslager kan ge en överbyggnad ett betydande tillskott i bärighet. Detta liknande förhållningssätt om tjockare asfaltslager användes tidigare i Sverige när det var vanligare att bygga vägar med naturgrus. En konstruktion med tjocka asfaltslager ska dock användas med omsorg då dessa konstruktioner är mer utsatta för att deformeras, särskilt på ytor med stillastående trafik.

Slutsatserna från studien är att multifunktionella ytor kan och bör användas på lågtrafikerade vägar där multipla funktioner vill uppnås på en gata. Byggnation av multifunktionella ytor kan också bidra till att klimatanpassa städernas infrastruktur, då dessa ytor kan fördröja dagvatten vid extrema skyfall. Multifunktionella ytor kan också bidra till en stadsmiljö med ökade biosystemstjänster samt öka trädens rottillgänglig volym.

Summary

According to historians, the first planned roads can be found during the time of the Roman Empire, and there the driving force behind road building has been to favor trade, warfare but also transport. Since the time of the Roman Empire, the way of building roads has not changed to any great extent. This was true until McAdam showed up with a revolution. This revolution involved raising the road superstructure in relation to surrounding surfaces and at the same time ensuring that the road was sealed to prevent water from entering the lower unbound layers of the superstructure. Also, unlike his predecessors, McAdam utilized all stone fractions, even the fines. This way of building still characterizes us today. In view of today's challenges with climate change, however, a paradigm shift is required to accommodate multiple functions in a single construction. This type of construction is today called multifunctional surfaces.

The road construction industry is still pessimistic about testing these constructions in society. Among other things, it is difficult to determine how the bearing capacity is affected, water is still considered to be the road's biggest enemy. Experience from such projects is still limited today. In this study, load-bearing capacity between the multifunctional surfaces and conventional surfaces is analyzed and compared. The load capacity is evaluated in this study using a FWD apparatus, which simulates the load of a heavy truck on the road.

The results from the FWD showed that skeletal soil surfaces had acceptable load-bearing results based on the Finnish guideline values for low-traffic surfaces. The results showed that the load-bearing capacity of multifunctional surfaces was lower in relation to the conventional superstructures. This relationship did not apply to one road, Borrebackevägen, where the draining superstructure had similar stiffness levels to the conventional surface. This can be explained by the fact that the draining superstructure had significantly thicker asphalt layers compared to the conventional surface. Thicker asphalt layers can give a superstructure a significant increase in load-bearing capacity. This similar approach of thicker asphalt layers was previously used in Sweden when it was more common to build roads with gravel. However, a construction with thick layers of asphalt must be used with care as these constructions are more prone to deformation, especially on surfaces with stationary traffic.

The conclusions from the study are that multifunctional surfaces can and should be used on low-traffic roads where multiple functions are to be achieved on one street. Implementation of multifunctional surfaces can also contribute to climate-adapting urban infrastructure, as these surfaces can delay stormwater during extreme downpours. Multifunctional surfaces can also contribute to an urban environment with increased biosystem services and increase the volume available to the roots of the trees.

Förkortningar och begrepp

Adhesion	En kraft som attraherar två material till varandra genom kontakt (Nationalencyklopedin, 2023).
Avvattning	Insamling och bortföring av dagvatten (Granhage, 2009).
Biokol	Ett organiskt material som värms upp i en syrefri process vilket underlättar användningen och hanteringen. Genom att använda biokol med innehåll av jord, mull eller liknande kan näringen från gödsling och vatten bättre bindas och utnyttjas av växtligheten under en längre period (Stockholms stad, 2017).
Dagvatten	Vatten från nederbörd, grundvatten eller issmältning som tillfälligt kan påverka en stads hårdgjorda ytor (Boverket, 2015).
Deflektion	En deflektion innebär en nedböjning för en väggyta i samband med belastning från fallviktsapparaten (Trafikverket, 2020).
Deformationsmodul	En storhet som karakteriserar jordens deformationsbenägenhet och betecknas E_v (Trafikverket, 2020).
Dränering	Avvattning av jord, byggnadsdelar m.m. (Granhage, 2009).
Flexzon/Flexyta	Del av vägsektionen som främst förekommer mellan gångyta och körbana, här kan möblering, grönska, dagvattenhantering m.m. förekomma (KTH m.fl., 2022)
Grönkompost	En restprodukt bestående av löv eller trämaterial från exempelvis trädgårds-, eller parker (Hålam, 2015).
Homogen	Likartad sammansättning (Nationalencyklopedin, 2023).
Isotrop	Likartad sammansättning oberoende av riktning (Nationalencyklopedin, 2023).

Kapillaritet	Ett mått på materials förmåga att leda vatten uppåt genom en konstruktion, främst gäller detta material med finare porer såsom lera eller silt (Granhage, 2009).
Kapillärkraft	En kraft som kan hålla kvar eller även driva upp vätskor genom kapillärer, mindre porer, med hjälp av adhesion och kohesion (Larsson, 2008).
Kohesion	Kraft som håller ihop ett materials mindre molekyler, en vidhäftningsförmåga (Nationalencyklopedin, 2023).
Kolmakadam	Ett begrepp som innebär en beblandning av makadam med biokol i hålrummen (Stockholms stad, 2017).
Kornstorlek	Sten kan ha varierande storlek vilken kan anges som stenens diameter (Nationalencyklopedin, 2023). En kornstorlek på 8/11 innebär en stenblandning med minsta diameter på 8 mm och största diameter på 11 mm.
Linjärelastisk	Spänningen och töjningen har ett linjärt förhållande, ett material som utsätts för en spänning återgår efter avlastning till ursprungsläget (Granbom, 2015).
Makadam	Krossat berg utan de finare fraktionerna upp till 2 mm, exempelvis stenfraktioner 2/90, 4/90, 22/90 osv. (Granhage, 2009).
Normalspänning	Spänning som verkar vinkelrätt mot ytan där kraftkomponenten är riktad (Trafikverket, 2020)
Permeabilitet	Egenskap som beskriver genomsläpplighet av material (Granhage, 2009).
Pimpsten	Ett poröst material som kommer från vulkaneruptioner, då magman möter atmosfären och tryckskillnader sker (Gabrielsson & Stål, 2020).
Rotinträngning	Innebär att rotsystemet växer in i exempelvis avloppsrören för att förse sig med vatten och syre vilket därför delvis eller helt täpper till denna ledning, i många fall skadas ledningen och kräver en åtgärd (Stockholms stad, 2017).

Skelettjord	Ett begrepp som innebär en beblandning av makadam med växtjord i hålrummen (Stockholms stad, 2017).
Sättning	En deformation som kan vara elastisk och/eller plastisk under en belastad yta (Trafikverket, 2020)
Tjäle	Vatten i marken eller väg som kan frysa till is vid fryspunkten (Trafikverket, 2023a).
Tjällossning	Tjäle tinar i samband med högre temperaturer (Trafikverket, 2023a).
Viskoelasticitet	Ett material som delvis beter sig visköst, delvis elastiskt beroende på yttre omständigheter såsom temperatur och belastningstid. Därmed varierar egenskaperna i samband med yttre påverkan genom belastningar, en elastisk deformation återgår till sitt ursprungsläge medan en viskös deformation består (Emanuelsson & Jansson, 2013).
ÅDT	Årsdygnstrafik är ett mått på medeltrafikflödet för ett vägvagnsnitt och räknas i enheten [fordon/dygn] enligt Trafikverket (2020)

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Världens ökande befolkning leder till ett större behov av bostäder och god transportinfrastruktur till och från olika samhällsfunktioner i den urbana miljön. För att kunna uppfylla invånarnas behov krävs fler bostäder och goda förbindelser till arbete, utbildning, service m.m. vilket ökar andelen hårdgjorda ytor (Boverket, 2010). Utsläppen förväntas öka i samband med en växande befolkning vilket ökar jordens temperatur. En höjning av temperaturen ökar risken för att extrema väderförhållanden såsom översvämningar uppstår vilken direkt kan påverka vatten-, och avloppssystemet (VA-system). Ytterligare en viktig komponent att ta i beaktning är utmaningen med platsbrist i stadsrummet och dess utformning. Hårdgjorda ytor är inte lika permeabla som andra ytor och kan i värre fall leda till översvämningar i samband med skyfall (Carlsson et. al., 2023).

Implementering av fler grönytor i den bebyggda miljön, exempelvis i form av en så kallad urban grönblå infrastruktur kan vara ett bra verktyg för klimatomställningen. På så sätt kan vegetationen hjälpa den urbana miljön att sänka risken för värmeböljor, ha större motståndskraft mot översvämningar och samtidigt öka luftens kvalitet. Samtidigt utgör vegetation ett verktyg för att öka trivseln och främja en god och hälsosam levnadsstandard (IPCC, 2022).

Handlingsplan Agenda 2030 är pågående idag för ett arbete mot en hållbar utveckling till år 2030. Här påpekas att en hållbar utveckling ska utgå från de ekonomiska, ekologiska och sociala aspekterna (Regeringskansliet, 2021). I strategin för levande städer nämns att städerna utgör en viktig plats för en klimatomställning och fortsatt bidragande till en hållbar utveckling i landet med tanke på mål 11, hållbara städer. En del av arbetet med mål 11 är etappmålet om införande av stadsgrönka och ekosystemtjänster i urbana miljöer (Boverket, 2020).

Idag försöker även Sveriges kommuner att arbeta med en klimatomställning på kommunal nivå. Däremot är omställningen långsam med hänsyn till hur aspekter såsom hållbarhet, kostnad och funktionalitet vägs mot varandra i en gemensam lösning. Billiga och enkla lösningar på vägbyggnaden präglar tänket kring den traditionella vägbyggnadstekniken idag. Exempelvis fokuserar dagens byggbransch på att minimera materialspillet genom att införa höga andelar av de finare materialen i strukturen, däremot är finare fraktioner mer känsliga för vatten vilket därmed innebär att vatten så mycket som möjligt bör hållas ute från vägkonstruktionen. För vatten in i konstruktionen ger detta problem för konstruktionen och dess bärighet. Dessutom ökar idag trafiklasterna för att få ett mer effektivt transportsystem med färre utsläppsnivåer, vilket ställer ytterligare högre krav på vägkonstruktionens bärighet (Svensk markbetong, 2019).

Vägtekniker idag behöver implementera fler innovativa lösningar för att kunna ta hand om den pågående klimatproblematiken, ett verktyg är att bygga vattentåliga vägkonstruktioner med god bärighet som kan innehålla grönka. I detta arbete kommer olika typer av multifunktionella ytor i Malmö att undersökas med fokus på bärighet.

1.2. Syfte och frågeställning

Syftet med examensarbetet är att undersöka bärigheten för multifunktionella konstruktioner och göra en historisk jämförelse mellan olika typer av konstruktioner. Detta för att utvärdera hur dessa konstruktioner kan avlasta stadens infrastruktur med hänsyn till de pågående klimatförändringarna, dvs. hur dessa kan avhjälpa översvämningar, värmeböljor etc. och vilka konsekvenser en multifunktionell yta kan medföra konstruktionernas bärighet.

Detta syfte mynnar ut i följande frågeställning:

- Hur påverkas vägkonstruktioners bärighet av multifunktionella ytors införande jämfört med en konventionell överbyggnad?

1.3. Metodbeskrivning

Frågeställningen besvaras genom litteraturstudier och bärighetsutredningar.

Litteraturstudie: Denna studie ger en inblick i hur vägen är uppbyggd samt de olika lagrens funktion utifrån de krav och reglering som gäller idag, samt historisk påverkan. För denna studie är bärighet en central del av arbetet. Det finns ett flertal metoder som kan nyttjas för att utvärdera bärighet vilka kommer att belysas för läsaren. Klimatförändringar och klimatpåverkan är en drivande faktor till förändring, därför kommer studien att förse läsaren med information om hur klimatförändringar kan påverka dagens konstruktioner. Dessutom beskrivs multifunktionella ytor, och skillnaden mellan krav och utformning mellan dessa multifunktionella ytor och traditionell vägbyggnadsteknik.

Information angående dessa olika delar av litteraturstudien undersöktes genom diverse tillgängligt material såsom böcker, forskningsrapporter, vetenskapliga artiklar, examensarbeten m.m. från branschrelaterade källor. Denna information användes sedan för att kunna dra slutsatser gällande de resultat som erhållits. I samband med sökning på internet användes bl.a. sökmotorerna Google, Google Scholar, LUBsearch och LUP student papers frekvent för att undersöka tillgänglig information. Det söktes på ämnen som "Bärighet", "Fallvikt", "Plattbelastning", "Bära eller brista", "Klimatpåverkan", "Multifunktionella ytor" m.m.

Bärighetsutredning: Denna utredning utfördes med hjälp av historiska bärighetsdata och aktuella indata från nyligen utförda bärighetsmätningar. På så sätt kunde vägkonstruktioners bärighet bedömas på ett lämpligt vis.

1.4. Avgränsning

Arbetet avgränsas geografiskt till Malmö stad då den indatan som samlats in kommer från olika projekt belägna i Malmö. Områden och vägar som behandlats i denna studie inkluderar Cementen, Gjuteriet, Grönare Möllan, Borrebackevägen och Nobelvägen.

Bärighetsutvärderingen utgick ifrån fallviktsresultat då fallviktsmätningarna kan behandlas för att få en insikt i bärigheten. Enbart Borrebackevägens styvhet bedömdes historiskt, dvs. att styvhetsmätningar från år 1991 användes för att jämföra med dagens styvhet och hitta särskilda trender.

1.5. Rapportens disposition

Rapporten utgick från följande struktur:

Litteraturstudie: I litteraturstudien lyftes ämnets viktigare vetenskapliga grunder, historiskt och nutida grunder för att visa hur utvecklingen skett i området.

- **Vägen:** Här förklarades vägens historia och nutid, hur vägbyggnadens nutid påverkades av dåtidens idéer. Dessutom framfördes dagens kraven för dimensionering av en väggropp.
- **Vägens nedbrytning:** Vägens ”fiender” som påverkar dagens konstruktioner negativt och kan orsaka nedbrytning lyftes här. Även begreppet bärighet belystes.
- **Klimatförändringar:** Klimatet är i ständig förändring tack vare människans påverkan. Här framfördes klimatförändringarna på ett övergripande vis, samt hur dessa påverkar vägens nedbrytning.
- **Bärighetsanalys:** Här förklarades analysmetoderna fallvikt, plattbelastning och okulär besiktning då dessa verktyg används för att bedöma bärigheten för vägkonstruktioner.
- **Multifunktionella ytor:** De multifunktionella ytorna behandlades här för att få en inblick i de olika konstruktioner som finns att nyttja. BGG-systemet från Edge beskrevs, liksom de dränerande överbyggnaderna. Därefter lyftes tidigare erfarenheter. Avslutningsvis tas de egna projekten upp och beskrivs utifrån det underlag som finns.

I **metoddelen** förklarades att metoden fallvikt nyttjades. Här förklarades utförandet av fallviktsmätningen och hur analysen av den givna indatan genomförts i detta sammanhang.

I **resultatdelen** presenterades de resultat som fåtts till följd av bearbetningen av indatan från fallvikt för de olika områdena. I **diskussion och slutsats** diskuteras dessa resultat för att ge en helhetsbedömning kring de olika konstruktionerna. Avslutningsvis gavs rekommendationer baserade på den erhållna informationen och de **slutsatser** som kunnat nås, dessutom ska tips ges till på vidare studier inom området.

2. Litteraturstudie

I litteraturstudien beskrivs vägens historia och nutid, främst då detta förklarar dagens vägtekniska utveckling. Examensarbetet behandlar bärighet vilket utgör ett centralt bedömningsverktyg för att kunna bedöma vägens tillstånd. Bärighetsutvärderingen kan utföras med hjälp fallvikt, plattbelastning och okulär besiktning vilka förklarades. Dessutom lyftes varför klimatförändringarna stärkt behovet av lösningar såsom multifunktionella ytor. Avslutningsvis framfördes tidigare studier och tester upp för att ge läsaren en inblick i kunskapsläget idag.

2.1. Vägkonstruktion

Sedan en lång tid tillbaka har vägar varit en viktig del av ett samhälles framgång. De första vägarna utgjordes av stigar. De första anordnade vägarna sägs ha byggts ca 2000 år före Kristus, i Mesopotamien, dock var infrastrukturen och planeringen fortfarande begränsad. I samband med utvecklingen av vagnar medfördes även tyngre laster, där dessa tyngre laster medförde nya behov såsom jämnhet och stabilitet på vägkonstruktionen (Hydén, 2008).

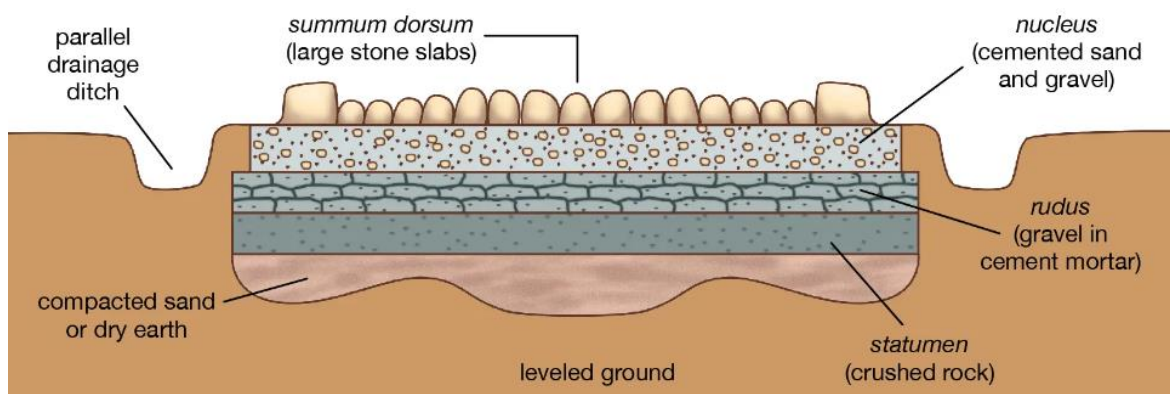
2.1.1. Historisk tillbakablick

Romariket var tidiga med att bygga vägar för att förbinda olika viktiga punkter, samtidigt underlättade dessa vägar att framföra tyngre laster. Bland annat kunde artilleri och arméer lättare komma fram för krigsändamål, vägarna underlättade för handelsmän då en större mängd varor kunde släpas fram. Runt år 312 före Kristus var den första romerska vägen byggd vilken kallades Via Appia, denna väg säkrade en förbindelse mellan olika städer i regionen och utvecklade handeln däremellan. Via Appia konstruerades med större stenblock som var tillräckligt stora för att motstå påfrestningar från trafik, klimat m.m. Vägen används därför än idag. Det som gör romerska vägarna unika är att arbetet för att bygga vägen följt en viss ordning (Hydén, 2008; Berechman, 2003).

Konstruktionens bredd var cirka 6 meter, och totalt 18 meter med diken och andra delar, se Figur och Tabell 1. De främsta materialen som användes förekom lokalt, därför kunde vägens uppbyggnad variera en hel del beroende på var vägen befann sig. Vägbyggarens arbete började med schaktning tills en hård yta nåtts där främst stenmaterial hittades i botten, under tiden passades det på att grävas diken. Efter schaktningsarbetet jämnades marken, antingen sand eller kalkbruk spreds över marken för att utgöra en god grund till vägen och motverka ojämnheter (Berechman, 2003).

På den kompakta jämna ytan sattes cirka 5 cm tjocka stenblock ut, dessa fogades ihop med lera eller kalkbruk. Denna del kallades för Bas 1. Bas 2 var nästkommande lager och bestod av krossad stenmassa som även här fogades ihop med kalkbruk eller något lermaterial. Vägen jämnades sedan ut ytterligare med nästkommande lager, den så kallade övre basen, som bestod av en sand-, och kalkblandning vilken sattes ut i olika lager och kompakterades. Därefter placerades kantstenarna ut längs med vägen, och ovanpå den övre basen sattes större

lavastenar ut vilka utgjorde beläggningen. Det har på senare tid visat sig att dessa vägar har en väldigt god beständighet då en del fortfarande används än idag (Berechman, 2003).



Figur 1: Tvärsektion över en väg under Romarrikets tid (Britannica, 2022).

Tabell 1: Överbyggnadstabell som illustrerar de ingående materialen i Via Appia (Berechman, 2003).

Lager	Material	Funktion	Avrundad lagertjocklek [mm]
Beläggning	Stenplattor, lavastenar	Slitlager, jämn yta	150
Övre basen	Grus och sand i cement	Fördela lasten	310 – 460
Bas 2	Grus i cementbruk	Fördela lasten	230
Bas 1	Krossad sten	Fördela lasten	260-620
Nedre basen	Krossad sten	Grund	80
Total			1030 – 1550

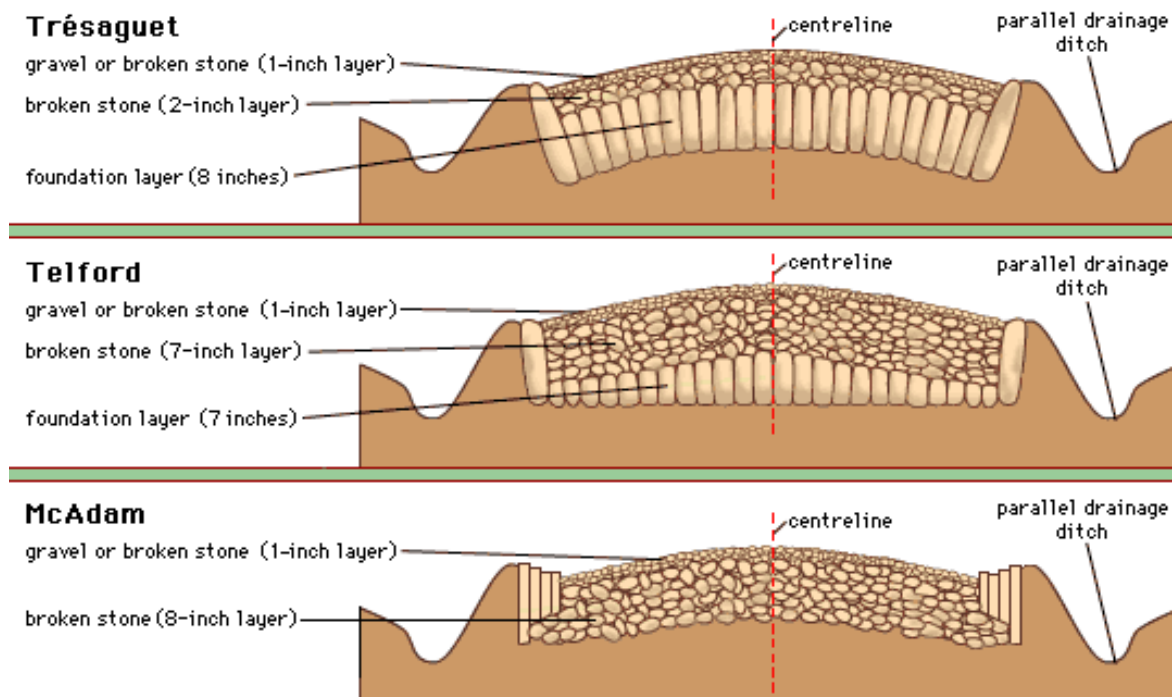
2.1.2. 1800-talet präglar dagens tänk

Efter romarriket var det under lång tid begränsat med innovation på den vägtekniska fronten. Detta ändrades runt 1700-talet. Telford, Tresaguét och McAdam är de namn som haft störst påverkan på vägkonstruktionen idag. Dessa individer belyste hur en särskild uppsättning väglager kunde förstärka konstruktionen och samtidigt minimera kostnaderna. På grund av problem med undergrunden tidigare fanns det även en idé om att förstärka undergrunden för att säkra en god beständighet (Britannica, 2022).

Frankrikes Pierre-Marie-Jérôme Tresaguét var en väg-, och brobyggnadsingenjör under slutet av 1700-talet som använde sig av den undergrunden som bas för sin vägbyggnad. Vägsektionen hade en bredd på ungefär 6 meter med större stenblock som underlag. Den

största problematiken med Tresagués idé fanns i hans tanke att vägen skulle grävas ned, se Figur 2. Vägen grävdes ned för att hålla samma nivå som omgivande ytor vilket skapade problem för dräneringen (Britannica, 2022).

Thomas Telford var en skotsk stenhuggare tidigt i karriären som övergick till att designa och konstruera broar och vägar. Telford fokuserade på att ha en jämt vägbeläggning med tvärfallslutning på 1/30 som kunde klara av de större lasterna men hade fler småfraktioner i vägkonstruktionen jämfört med Tresaguét, se Figur 2.



Figur 2: Illustrerar olika tvärsektioner (Britannica, 2022).

Dagens vägbyggnad präglas främst av effektivitet och ekonomi bland annat genom att minska på materialspillet så mycket som möjligt. Att införa finare material i en vägkonstruktion härstammar möjligtvis från John Loudon McAdam, en ingenjör från 1800-talets Skottland som flitigt använde sig av grus och krossad sten. Grus och krossad sten kallas idag makadam efter just McAdam. McAdam kom i underfund med att den krossade stenen skulle agera som en enhetlig massa. Den krossade stenen skulle till storlek vara mindre än däckets för att vara slät och tillgodose en minskad last till de underliggande lagren så länge underlaget var torrt (Britannica, 2022; Lay, 1999).

Dessutom gjorde McAdam ett annat genombrott, han insisterade på att höja vägbanan för att motverka att grundvattnet skulle påverka vägkonstruktionen. McAdam påpekade att en upphöjd vägkonstruktion med stora fraktioner undertill minskar grundvattnets inverkan. McAdam såg även till att beläggningen var impermeabel genom att använda sig av samkross där stenarna inte var större än 1 inch, dvs. samkross av fraktionen 0-26 mm. En minimering av materialspillet genom att använda de finare fraktionerna, och att vattnet blev

vägkonstruktionens fiende blev därmed känt som ett paradigmskifte (Britannica, 2022; Lay, 1999). Detta tankesätt präglar än idag vägbyggnadstekniken.

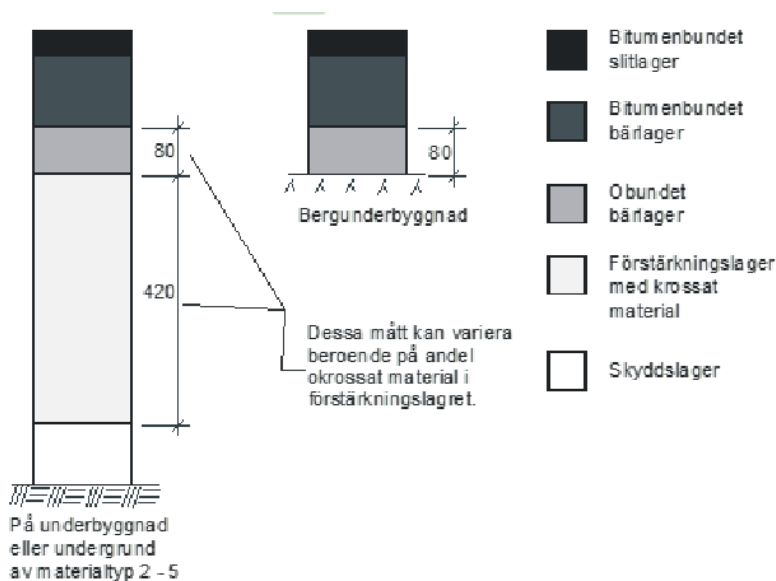
2.1.3. Vägbyggnadstekniken idag

Med en bättre insikt i hur historien för vägbyggnaden varit kan nästa del nu bättre bearbetas. För att förstå sig bättre på ämnet vägbyggnadsteknik ska denna del av arbetet behandla vägkonstruktionen idag.

En väg är en konstruktion som är ämnad att fördela lasten från trafiken på ett lämpligt sätt genom de olika delarna av vägens kropp i enlighet med de krav och reglering som gäller. En väg beskrivs vanligtvis utifrån sina två delar, en överbyggnad och en underbyggnad. Innan väggroppen byggs upp sker lämplig schaktning och fyllning för att utgöra en bra grund, en så kallad terrassyta längs den tilltänkta vägen. En underbyggnad är den del av vägen som finns under terrassytan i och med att vägen ska byggas upp och består främst av samma naturmaterial som undergrunden består av om inte fyllnadsmaterial behövs. Däremot är underbyggnaden i många fall upphöjd på ett lämpligt sätt för att kunna stödja överbyggnaden (Agardh & Parhamifar, 2014).

Överbyggnaden är den del av väggroppen som skyddar underbyggnaden. Därför behöver överbyggnaden ha en hög styvhet för att minska lasten från trafiken till en nivå som underbyggnaden kan klara av. Dessutom ska en överbyggnad tillfredsställa kraven på komfort, trafiksäkerhet och beständighet genom att exempelvis föra bort vatten från nederbörd för att motverka nedbrytning (Agardh & Parhamifar, 2014).

Främst används tre olika typer av överbyggnader i Sverige. Dessa kallas grusbitumenöverbyggnad (GBÖ), betongbitumenöverbyggnad (BBÖ) samt cementbitumenöverbyggnad (CBÖ). GBÖ och BBÖ är flexibel respektive halvflexibel överbyggnad, däremot är CBÖ:n semiflexibel. I Sverige byggs främst en flexibel GBÖ (Agardh & Parhamifar, 2014). En GBÖ kan enligt Trafikverket se ut som Figur 3.



Figur 3: Grusbitumenöverbyggnad (GBÖ) illustreras enligt Trafikverket (2023)

2.1.3.1. *De ingående delarna av en väg*

Slitlagret är det översta, synliga lagret av en väg och består främst av en varmblandad asfaltmassa med hög temperatur vid beläggning. Nationellt är det vanligt att använda en tät asfaltmassa. Slitlager skall vara jämnt i både längs- och tvärriktning för att erbjuda trafikfordon en säker och bekväm körning längs vägen (Agardh & Parhamifar, 2014).

Bindlagret kan vara ett tillägg till väggroppen i samband med tyngre trafiklaster för att minska sprickbildningen. Främst används bindlagret om den tunga trafiken överstiger 250 fordon/dygn. Bindlagrets funktion är att föra ner laster som kommer från trafiken vidare till bärlagret samt motverka ojämnheter (Agardh & Parhamifar, 2014).

Bärlagret finns i de flesta vägarna både som bundet och obundet materiallager och har till funktion att fördela ned lasterna från ovanliggande lager. Det bundna bärlagret ska motverka deformationer genom att minska trycket från trafiklasterna på underliggande lager. Det obundna lagret som främst består av krossat material har som funktion att agera som en hållbar grund för ovanliggande lager för att kunna leva upp till den tänkta tekniska livslängden för vägen (Agardh & Parhamifar, 2014).

Förstärkningslagret ska i funktion som föregående lager föra ned lasterna från trafiken, men här förs lasterna ner till terrassen. Förstärkningslagret är i många fall det sista lagret i överbyggnaden om inte ett skyddslager förekommer. Enligt Agardh et al. (2014) bör även schaktmaterial från omkringliggande områden utgöra en större del av detta lager för att minimera miljöpåverkan (Agardh & Parhamifar, 2014).

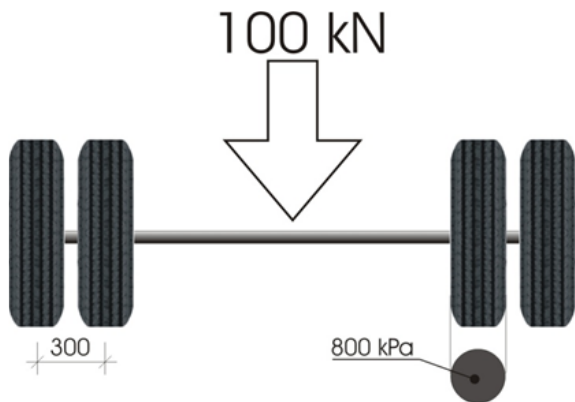
2.1.3.2. *Dimensioneringsklasser*

En viktig faktor att ta hänsyn till i samband med vägbyggnad är trafiklasten som kommer framföras på vägen. Trafiklastens storlek har en direkt inverkan på de olika lagertjocklekarna i en konstruktion. En underdimensionerad konstruktion kan lättare brytas ner eller kräva större underhållsåtgärder. Det är viktigt att dimensionera vägarna rätt, bland annat för att hushålla med världens ändliga resurser men även för att få en rättvis fördelning av de ekonomiska medlen. Att överdimensionera en väg kan leda till outnyttjade resurser och höga produktionskostnader, men att underdimensionera en väg kan leda till högre kostnader, exempelvis i form av drift och underhållsåtgärder (Agardh & Parhamifar, 2014; Granhage, 2009).

Dimensionering av en konventionell väg idag ska enligt Trafikverket (2023) utgå från en förväntad trafikmängd på vägen för att kunna uppnå en tillräckligt god bärighet under den tänkta livslängden. Olika fordon medför varierande påverkan på en vägkonstruktion, för att kvantifiera den totala mängden fordon på en väg behövdes en gemensam enhet. Denna enhet kallas för en standardaxel. En standardaxel förklaras enligt Trafikverket (2019) som en särskild fordonsaxel för att kunna kvantifiera den tunga trafikens belastning på en väg.

Ett tungt fordon ger upphov till en särskild belastning vilken kan motsvaras av ett antal standardaxlar med hjälp av en omvandlingsfaktor vilken påverkas av fordonets axellast och

axelkonfiguration. En standardaxel definieras som en axel med dubbelmonterade hjul med avståndet 300 mm mellan hjulen, som totalt medför en last på 100 kN. Kontakttrycket är 800 kPa mellan däck och beläggning, se Figur 4.



Figur 4: Illustrerar en standardaxel enligt Trafikverket (2019).

Ekvivalent antal standardaxlar kan enligt Trafikverket (2019) bestämmas med hjälp av formeln nedan:

$$N_{ekv} = \text{ÅDT}_k * 3,65 * A * B_{just} * \left(1 + \frac{100}{k}\right) * \left(\left(1 + \frac{k}{100}\right)^n - 1\right) \text{ om } k \neq 0 \quad (1)$$

$$N_{ekv} = \text{ÅDT}_k * 3,65 * A * B_{just} * n \text{ om } k = 0 \quad (2)$$

- A är andelen tung trafik i procent
- k är trafikförändringen i procent
- n är den avsedda tekniska livslängden för konstruktionen
- B_{just} är justerat antalet standardaxlar per tungt fordon och kan beräknas enligt formeln nedan:

$$B_{just} = f_a * f_b * f_c \quad (3)$$

Där f_a , f_b och f_c är justeringsfaktorer enligt Trafikverket (2019).

Genom att bestämma antalet ekvivalenta standardaxlar kan dimensioneringsklassen bestämmas vilken underlättar för att välja en dimensioneringsmetod. Trafikverket har idag tre aktuella dimensioneringsklasser:

Tabell 2: Tabelldimensionering enligt Svensk Markbetong (2019).

Ekvivalent antal standardaxlar per körfält (*10 ³)	Trafikklass	Traditionell konstruktion			Dränerande konstruktion	
		Plattor	Marksten halvförband	Marksten, låssten eller fiskbensförband	System 1	System 2 och 3
0	G/GC					
<50	0					
50 – 250	1a					
250 – 500	1b					
500 – 1 000	2					
1 000 – 2 500	3					
2 500 – 5 000	4					
> 5 000	5			Särskild utredning krävs		

- **DK2:** Denna klass utgår ifrån en empirisk-mekanistisk dimensionering och är mest förekommande bland de olika dimensioneringsklasserna vägar. En empirisk-mekanistisk dimensionering innebär att beprövad erfarenhet har tillsammans med fältförsök utgjort en grund för denna dimensioneringsklass (Agardh & Parhamifar, 2014).

Här kan verktyget PMS-objekt användas, ett verktyg för dimensionering av överbyggnader som bygger på linjärelastisk teori, dvs. att verktyget utgår från att de olika lagren är linjärelastiska, homogena och isotropa. Detta innebär bland annat att PMS-Objekt använder förenklingar såsom att lagren återgår till sitt ursprungsläge efter belastning. Verktyget kan även användas i samband med val av drift- och underhållsåtgärd (Khomami & Pour, 2020).

Ett problem med PMS objekt är att klimatförändringarna inte kan tas hänsyn till i samband med utvärderingar på en konstruktions livslängd, olika utfall för klimatets påverkan på spår-, eller sprickbildning kan inte testas (Arvidsson et. al.,2012). En annan problematik med PMS objekt är att det enbart fungerar för särskilda förinställningar, det vill säga att det kan bli svårt att ersätta material eller att ändra materialegenskaper. Detta gör det svårt att använda sig av verktyget för att pröva nya konstruktioner (Al Barkawi, 2012). Ett exempel på en sådan konstruktion kan vara multifunktionella ytor.

Idag görs ett försök till förändring på denna front, ett nytt program som heter ERAPave (Elastic Response Analysis of Pavements) är utvecklat från Statens väg-

och transportforskningsinstitut (VTI). ERAPave är baserat på elastisk teori för flera skikt och tar hänsyn till de obundna lagrens spänningsberoende och viskoelastiska egenskaper. Genom detta program kan klimat, konstruktionen som helhet genom materialen samt trafikens påverkan analyseras mer djupgående på grund av programmets flexibilitet.

Skillnaden mellan dessa program ligger främst i att PMS-objekt är begränsat till att främst hantera konventionella vägar vilket försvårar testning av nyare konstruktionsförfaranden. Dessutom antas det i PMS-objekt att spårdjupsutvecklingen enbart uppkommer från terrassen, och där VTI:s ERAPave i stället använder sig av samtliga lager för att förklara spårdjupsutvecklingen i en konstruktion. Dessutom tar ERAPave hänsyn till fuktillståndet bland de obundna lagren. På så sätt ger ERAPave en mer rättvis helhetsbild och kan eventuellt leda till bättre resultat på lagertjocklekar m.m. (Khomami & Pour, 2020). ERAPave är tänkt att ersätta PMS-objekt för DK2 och även DK 3 (Khomami & Pour, 2020).

- **DK3:** Denna dimensioneringsklass används under särskilda fall för tyngre laster och förklaras som en dimensionering utifrån avancerade mekanistiska modeller och även provning i labb. Dessutom används “metoder och material som inte omfattas av DK1 eller DK2” (Trafikverket, 2023). På grund av att PMS-objekt inte kan behandla dimensionering av nya konstruktioner med ändrade egenskaper än de som finns i programmet behöver dimensionering av multifunktionella ytor utgå från denna klass idag. Som tidigare nämnt kan ERAPave ersätta PMS-objekt för denna klass.

2.2. Vägens nedbrytning

Vägen börjar att brytas ned så fort den är i bruk på grund av naturliga processer och behöver därför motstå nedbrytning under livslängd för att fortsättningsvis vara användbar. Exempelvis gäller kraven på komfort, trafiksäkerhet och beständighet under hela livslängden. Vägens nedbrytning påverkas av olika faktorer såsom klimat i form av nederbörd och temperatur men även belastningar från trafiken (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.2.1. Temperatur

Bitumenbundna lager i en vägkonstruktion är starkt temperaturberoende, exempelvis sägs det att materialet maximalt klarar av cirka 60°C (Agardh & Parhamifar, 2014). Därefter påverkas de mekaniska egenskaperna, materialet övergår från att bete sig viskoelastiskt till att agera likt ett smörjmedel. I samband med temperaturer understigande 0°C beter sig bitumenmaterialet som glas. Bitumenmaterialets kvalitet och beståndsdelar är avgörande för hur materialet beter sig (Abdulkadir & Alhasssan, 2020; Nivitha et. al., 2016).

Asfalt kan absorbera mycket solenergi genom sin mörka yta och därför bli varmare än omgivande ytor, det räknas med en ökning på runt 20-30 °C på asfaltens yta i relation till omgivning (Maria et. al., 2013). Asfaltens översida är inte den varmaste delen av asfalten,

värmen förs ned till asfaltbotten där den ackumuleras. Det är känt att höga temperaturer relateras till spårbildning och strukturella skador på vägkonstruktionen (Vaitkus et. al., 2019). Högre temperaturer relateras till uppmjukning av de asfaltbundna lagren vilket minskar vägkonstruktionens totala styvhet, i samband med detta kan de underliggande lagren påverkas mer av de laster som konstruktionen utsätts för (Sulejmani et. al., 2021).

2.2.2. Trafiklaster

Spårbildning i en vägkonstruktion relateras vanligtvis till tung trafiklast och nötning av dubbdäck, på grund av permanenta deformationer som uppstår i alla lager. Spåren kan även leda till att det uppstår sprickor och krackeleringar (Lira et. al., 2021). Dragtöjningar i asfaltens underkant leder till utmattning och resultatet av utmattning kan tillsammans med exempelvis temperaturskillnader och nederbörd vara en lägre styvhet på konstruktionen, där den lägre styvheten kan leda till deformationer och slutligen sprickor (Ekdahl, 2019).

2.2.3. Nederbörd

Vatten är vägkonstruktionens största fiende och kan påverka vägens tillstånd samt leda till skador. Främsta orsaken till vatten är nederbörd. Förhållanden som högt grundvatten och undermålig dränering kan leda till att vatten förs till konstruktionens olika delar. Vatten påverkar vägens bärighet i samband med nedträngning genom sprickor eller öppningar och beblandning med de obundna lagren (Vaitkus et. al., 2019; Granhage, 2009). Enligt utförda studier kan 80 % av de bärighetsrelaterade problemen kopplas vatten i de obundna lagren eller terrassen. Styvheten på de bundna lagren påverkas av last och temperatur medan de obundna materialen påverkas av vatteninnehållet (Vaitkus et. al., 2019).

Fukthalten nämns vara en ledande påverkansfaktor som kan påverka hur de obundna materialen deformeras permanent. Deformation sker lättare i samband med högre fukthalter som är i nivå med eller nära mätnadsnivån. Exempelvis nämns i en studie att styvheten minskade med 50 % i samband med att fukthalten ökade från 70 % till 97 % för grusmaterial. I samband med att fukthalten ökar och belastning av trafiken sker kan det leda till att porvattentrycket i porerna mellan stenarna ökar, detta leder därför till att porvattentrycket kan överta stenskelettets möjlighet till att motstå spänningarna och deformationer. En annan studie nämner att effektivspänningen minskar mellan stenskelettets olika delar på grund av fukten och oberoende av porvattentrycket, fukten nämns agera som ett smörjmedel vilket ökar de permanenta deformationerna (Lekarp et. al., 2000). Läs vidare till kapitel 2.4.1. för mer ingående information.

Fukt och vatten kan påverka de bitumenbundna lagrens åldringsprocess, för de obundna lagren en ökad fukthalt leda till en ökad spårutveckling. Beläggningar som är fuktiga kan lättare nötas på grund av dubbdäcksanvändning även om stenmaterialet och dess kvalité har en avgörande roll (Jacobson & Wågberg, 2007).

Vägkonstruktionens underliggande material ska motverka att grundvatten kan söka sig upp till överbyggnaden (Agardh & Parhamifar, 2014). Att grundvattnet söker sig upp kan bero till stor del på vilket terrassmaterial som finns på plats, exempelvis har lera en högre

kapillaritet jämfört med sand på grund av bland annat kornstorleksfördelningen och packningen i materialet (SGU, 2019).

2.3. Klimatförändringar

Med kommande klimatförändringar kommer vägens nedbrytning att förändras, främst då materialen som används för vägbyggnad är högst beroende av det klimat som de utsätts för, en klimatförändring kommer leda till att materialens egenskaper förändras (Arvidsson et. al., 2012). Klimatförändringar är påverkansfaktorer för väginfrastrukturen, att fortsätta bygga som vi gör idag kommer leda till att den blir sårbar framöver. Klimatanpassningar behöver utföras för att stärka väginfrastrukturen och minimera risken för störningar i samband med extremväder. Kunskap om att klimatförändringarna kan påverka vägens infrastruktur finns, däremot kan ekonomiska ramar och prioritering mellan olika politiska mål utgöra ett hinder för arbetet, detta leder i ett längre perspektiv till negativa konsekvenser (Kjellström et. al., 2014; Arvidsson et. al., 2012).

Höga vattennivåer nämns påverka kustnära vägar där exempelvis kusterosion kan påverka vägkonstruktionen (Arvidsson et. al., 2012). Den främsta faktorn till havsnivåhöjningarna nämns vara ökad temperatur. Havsnivån kommer enligt prognoser att öka mellan 18-98 cm till år 2100 beroende på geografiska plats och modell. Värmen påverkar dessutom med en volymökning, en termisk expansion, vilket ökar havsnivån (Persson et. al., 2012). Enligt Hyeronymus & Kalén (2020) kommer havsnivån i approximation till Malmö att stiga med 70 cm till år 2100, detta enligt RCP 8,5.

Ras och skred kan uppstå på grund av ökade skjuvspänningar i jordmaterialet och påverka vägkonstruktionen. Hållfastheten i jorden påverkas i samband med extremnederbörd och högre grundvattennivåer, särskilt kohesionsjordar som ler och silt har en högre risk för ras och skred i samband med ökat portryck. Därmed kan ändrade förhållanden i samband med yttre laster påverka jorden annorlunda och leda till ras eller skred (Arvidsson et.al., 2012). Kustnära miljöer kan påverkas särskilt genom en högre utsatthet för höga havsnivåer och erosion. Främst är en jordsammansättning som är bestående av finare material mer känslig för yttre påverkan, och erosion kan därför uppstå (Arvidsson et.al., 2012).

2.3.1. Temperatur

Den globala medeltemperaturen kommer att öka och antalet dagar med högre temperaturer att bli allt vanligare till år 2100, olika scenarion och modeller visar dock olika resultat för temperaturökningen. Enligt SMHI (2023) prognosticeras en ökning på 4 °C för Malmö till år 2100 enligt RCP 8,5, där RCP 8,5 är det värsta tänkbara scenariot. Dessutom illustreras det att de lägsta temperaturerna i stora delar av landet kommer ligga kring 8-12 °C högre, vilket innebär att nederbörden kan öka på bekostnad av snön (IPCC, 2022; Eklund et. al., 2015; Kjellström et. al., 2014).

I en vägkonstruktion är de bundna lagrens styvhet väldigt temperaturberoende. En varmare sommar kan medge ökad spårbildning och lägre utmattningshållfasthet vilket kan leda till en ökad nedbrytning. I samband med en temperaturökning minskar styvheten hos ett bitumenbundet materiallager, vilket leder till högre dragpåkänningar i asfaltens underkant och resulterar i lägre utmattningshållfasthet (Arvidsson et. al., 2012).

2.3.2. Nederbörd och översvämning

Vatten förväntas påverka vägens nedbrytning i samband med klimatförändringarna, exempelvis genom extremregn eller översvämning (Arvidsson et. al., 2012). Det geografiska läget kommer att spela roll för hur nederbörden påverkas. Exempelvis antas det att världens torra områden blir torrare och områdena med mycket nederbörd att få ytterligare ökning av nederbörd (IPCC, 2022). I Malmö förväntas nederbörden att öka med 11 mm/månad till år 2100 från den nuvarande nederbördsnivån på 62 mm/månad, utifrån RCP 8,5 (SMHI, 2023). En ökad nederbörd höjer grundvattenförhållandet, och nederbörd över jordens mätnadspunkt kommer förstärka ytavrinningen (Eklund et. al., 2015; Kjellström et. al., 2014). En förhöjd ytavrinning kan påverka en vägkonstruktions stabilitet leda till skred eller ras. Dessutom kan en förhöjd ytavrinning leda till översvämmade vägpartier (Arvidsson et. al., 2012).

Extremnederbörd kommer att uppstå mer frekvent även då sommarregnen blir färre i majoriteten av landet. Extremväder inträffar sällan rent statistiskt sett, däremot kan det komma att bli vanligare med hänsyn till de pågående klimatförändringarna. Översvämningensrisken kan komma att öka i hela landet på grund av de förändrade klimatförhållandena. Särskilt kan översvämningensrisken komma att öka längs vattendrag och sjöar vilket kan skada vägens infrastruktur (IPCC, 2022; Kjellström et. al., 2014).

En del överbyggnader är ämnade för att släppa igenom vatten och kan påverkas då nederbördsvolymen ökar, detta kommer sätta högre tryck på att dräneringen och avvattningen fungerar då vatten påverkar vägens bärighet. Framst är konstruktionens dränerings-, och avvattningsförmåga viktig under vinterhalvåret där majoriteten av beläggningsskadorna uppstår (Arvidsson et. al., 2012).

Jorden kommer vara fuktigare, med mindre möjlighet att föra ner tillkommande nederbörd vilket resulterar i en högre ytavrinning och vattenflöden runt vägarna. Dessutom kommer förhöjda volymer av nederbörd att öka grundvattennivåerna vilket under mindre gynnsamma förhållanden kan leda till skred eller ras i särskilt utsatta områden (Arvidsson et. al., 2012).

2.3.3. Tjällossning

Under tjällossningen påverkas bärigheten av ett flertal faktorer. Dessa är bland annat vägbanans jordsammansättning och form, tjällytans djup och form, tillförd nivå av fritt vatten till väggroppen och hur lång tid vatten kan påverka väggroppen samt trafiksituationen på platsen. Många av dessa faktorer påverkas av klimatet, exempelvis påverkas tjälningshastigheten och tillförseln av det fria vattnet av klimatförhållandet som råder. Vägbanans form påverkas av jämnheten och bomberingen. Den finkorniga jordsammansättningen kan lättare föra vatten upp till konstruktionen. Det som är gemensamt för de flesta faktorerna är att dessa vid icke-gynnsamma förhållanden kan leda fukt till konstruktionen på ett eller annat sätt (Beskow, 1930).

Ytuppmjukning är ett fenomen som uppstår under tjällossningsperioden och kan drabba den övre delen av beläggningen med uppmjukning. Tjälen agerar som ett indirekt skydd för

vägbanan då den motverkar att vatten förs till beläggningen under tjälperioden, däremot tinar tjälen under tjällossningsperioden och kan därmed i stället föra vatten till beläggningen vilket ger en uppmjukning. Däremot är det inte enbart från ovansidan som ytuppmjukning kan förekomma, fenomenet är även beroende på uppsuget vatten från de nedre delarna från smältvatten eller nederbördsvatten. Ytuppmjukning uppstår främst i de södra och mellersta delarna av Sverige på grund av de högre vintertemperaturerna (Beskow, 1931).

2.4. Mekanismer som motverkar nedbrytning

Vägkonstruktioner bryts ner över tid och har inte en given maximal last innan den blir obrukbar (Agardh & Parhamifar, 2014). Vägkonstruktionen och dess funktion påverkas av yttre belastningar, väder m.m. I samband med nedbrytningen försämras vägens tillstånd och påverkar därmed funktionen. Funktionspåverkande nedbrytning kan vara i form av exempelvis spår, sprickor och ojämnheter. För att motverka att funktionen påverkas krävs därmed förbättringsåtgärder, och därför behövs verktyg för att bedöma en vägkonstruktions tillstånd. Ett sådant mått är bärighet vilket förklarar hur stor last som kan förekomma med hänsyn till sprickor och deformationer (Nilsson, 2020). Med hjälp av elasticitetsteorin anges bärigheten som den mängden 10-tons axellaster som vägen klarar av tills den kräver en förstärkningsåtgärd (Simonsen, 1977).

Enligt Trafikverket (2023) är bärighet ett mått på den högsta lasten som kan accepteras, enstaka eller ackumulerad, med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer. Däremot kan vägen påverkas av andra fenomen som kan påverka bärigheten förutom lasten, exempelvis nedbrytning på grund av temperatur och fuktpåverkan på konstruktionen. Bärighet kan utvärderas med hjälp av tester såsom plattbelastning eller fallvikt. Det finns olika mekanismer som spelar roll inom eller utanför väggroppen som motverkar nedbrytningsprocesserna. Dessa kommer att studeras djupare i detta kapitel genom att se över mekanismer som påverkar överbyggnad och underbyggnad.

2.4.1. Överbyggnaden

En av vägkonstruktionens främsta roller är att vara jämn, trafiksäker och fördela lasten så att undergrunden kan hantera den (Agardh & Parhamifar, 2014). Lasten som vägen utsätts för kan bemötas av två mekanismer vilka är det bitumenbundna lagrets styvhet och stenkontakten mellan stenarna i det obundna materialet (Lira et. al., 2021). Stenmaterialet kan utgöra upp till 96 % av en beläggning sett till vikten och spelar därför en viktig roll mot nedbrytningen (Höbeda, 2018). Samtligt stenmaterial som används påverkar överbyggnadens hållfasthetsegenskaper, hög materialkvalité bör eftersträvas för att motverka problematik med bristande bärighet (Agardh & Parhamifar, 2014). Stenskelettet håller sig samman genom att stenarna fördelar lasten genom kontakten mellan varandra på varandra, glidningen motverkas genom friktion (Höbeda, 1995).

Vägen utsätts för olika deformationsprocesser som kan klassas resilienta deformationer och permanenta deformationer, där den resilienta deformationen är elastisk och den permanenta deformationen en plastisk deformation. En resilient deformation i ett material ger att det

återvänder till sitt ursprungsläge till skillnad från den plastiska deformationen, den är permanent (Lekarp et. al., 2000).

Ett obundet materials mekaniska egenskaper och därmed motståndskraft mot permanenta deformationer påverkas av partikelstorlek, spänningshistorik, partikelform, packningsgrad, fukthalt och gradering (Lekarp et. al., 2000; Beskow, 1933). För de obundna materiallagren är kontakten mellan stenarna fundamental för att motverka permanenta deformationer, där en porositet överstigande 48 % kan leda till kontaktförluster i stenskelettet. Även stenmaterialets mineralinnehåll kan påverka kvalitén (Lira et. al., 2021).

Permanent deformation i de obundna lagren beror av spänningar i samband med trafikbelastning, där även belastningens position i relation till en särskild partikel ger olika påverkansnivåer för de olika spänningarna. De olika spänningarna är horisontal-, vertikal-, och skjuvspänning. Permanenta deformationsmekanismerna antas bero av konsolidering, omlagringar i stenskelettet påverkandes skelettformen och nötning mellan de olika stenarna som sker på grund av böjning, rullning eller glidning mellan olika partiklar. Partikelrullning eller glidning kan motverkas av partikelformen och stenskelettets form. Nötningen sker på grund av att lasten överskrider partikelns förmåga att ta emot denna last. Nötningen sker över tid och kan påverka partikelformen och även packningen efterhand. Mineralogin, formen och lastbärande förmågan är några egenskaper som kan motverka nötningen (Lekarp et. al., 2000).

En stor påverkan kommer även från densiteten. En ökad densitet från packningen ger styvare material, en styvhet som kan öka upp till 50% i jämförelse med lösa material. Detta främst på grund av att andelen beröringspunkter mellan de olika partiklarna ökar vilket ger stabilitet och ett minskat medelspänningsvärde per partikel (Lekarp et. al., 2000).

Spänningshistoriken anses kunna påverka de permanenta deformationerna i en mindre grad än de andra aspekterna, och generellt anses mellan 100 – 1000 överfarter vara den jämviktsnivå som ger de värsta permanenta deformationerna innan deformationen övergår till att vara resilient. Den resilienta modulen anses ta över efter de initiala överfarterna på grund av att fukten minskar i materialet (Lekarp et. al., 2000). Enligt Lekarp et. al., (2000b) kan däremot en jämviktsnivå enbart uppnås i samband med lägre laster, vid högre laster sker kontinuerliga permanenta deformationer till slutet av materialets livscykel.

Stenmaterialets gradering påverkar en asfaltblandnings styvhet även om ballastkällan och bitumentypen är samma, främst på grund stenkontakt mellan stenarna (Lira, 2020; Svensson, 2012 ;Höbeda, 1995). Fyra olika graderingstyper är ensgraderat, välgraderat, språnggraderat (gap-graded) eller öppet material. Ensgraderat material innebär främst att materialet består av liknande kornstorlek genom stenblandningen, detta resulterar i några få kontaktpunkter mellan stenarna och stora hålrum. På grund av att det finns mycket hålrum ger detta en hög permeabilitet, däremot lider stabiliteten och packningen av få kontaktpunkter mellan stenarna. Tvärt emot ensgraderat material har välgraderat material många kornstorlekar och fler kontaktpunkter vilket leder till hög stabilitet. Däremot minskar hålrumshalten och permeabiliteten på grund av de finare fraktionerna, och materialet är svårt att packa (Fang et. al., 2019).

Öppet material har få småpartiklar men det finns kontakt mellan partiklarna och mycket hålrum. På grund av ökade antal kontaktpunkter ökar stabiliteten, däremot är blandningen fortfarande svår att packa på grund av avsaknad av finmaterial. Språnggraderat material har få medelstora partiklar och lite kontakt mellan de större partiklarna vilket medför sämre stabilitet. En hög andel finmaterial kan medge ganska låg permeabilitet och hålrum på grund av de mindre fraktionerna i materialet. Däremot är det lättast att packa av samtliga graderingstyper (Fang et. al., 2019).

Styvheten minskar med en ökad andel finmaterial, den resilienta deformationen minskar med omkring 60% i samband med att andelen finmaterial ökar från 0 % till 10 %. I samband med att porerna fylls med finmaterial kan det överblivna finmaterialet överta grövre fraktioners möjlighet till att motverka spänningar, därmed beror styvheten till stor del på finmaterialet och styvheten minskar markant. För sten med samma kornform och andel finmaterial ökar styvheten med en ökad maximal stenstorlek. Detta förklaras ske på grund av att andelen beröringspunkter minskar med de grövre materialen vilket motverkar total deformation (Lekarp et. al., 2000).

Välgraderade material med en högre andel finmaterial påverkas mer av fukthalten då finmaterialet kan förvara vattnet längre i poröppningarna till skillnad från ensgraderade material som tillåter att vattnet dräneras bort. Däremot har andra studier påpekat att styvheten för välgraderade material kan öka om fukthalten är under den normala nivån, detta förklaras då porerna i stället ger en sugande effekt (Lekarp et. al., 2000). Ensgraderade materials styvhet sägs påverkas endast minimalt av fukthalter nära mätnadsfukthalten, medan stenblandningar med en större mängd finmaterial såsom de välgraderade påverkades med en avsevärd förlust av styvhet vid ökat fukttinnehåll (Ekblad & Isacsson, 2006).

Porvolymen beräknades bli 27 % respektive 26 % för materialen 0/90 och 2/90. Ett konventionellt obundet bärlagermaterial med kornstorlek 0/32 har en porvolym på 22 %, jämförelsevis nämns att ett bärlagermaterial på 2/32 har en fördubblad deformationsbenägenhet men med 28 % porvolym. Dränerande material har stor risk för studs i samband med packningen vilket kan skada materialet. Material av kornfraktionerna 2/32 och 2/90 nämns kunna packas ungefär som konventionella material i samband med bevattning. Maximalt 3 vikts-% fillerhalt rekommenderas för dränerande material (Murén & Didriksson, 2017).

2.4.2. Undergrunden

I Sverige består ofta undergrundsmaterialet av finkornig lera eller silt vilka är mindre påverkade av temperatur i jämförelse med bitumenbundna lager, däremot är dessa material vattenkänsliga. De finhaltiga materialen suger till sig vatten genom de kapillära krafterna när det fryser vilket under frysning ökar volymen, vattenkvoten ökar därmed. I samband med upptining minskar styvheten, deformationsbenägenheten ökar och packningsgraden minskar på grund av frostlyft (Arvidsson et. al., 2012).

Jordens bärighet beror av vattenhalten i jordmassan och jordmassans mekaniska egenskaper. En hög vattenhalt kan leda till formförändringar på grund av att vatten blir som ett smörjmedel. Partiklarna kommer därför att genomgå en glidning i förhållande till varandra vilken möjliggör en deformation (Beskow, 1930).

De mekaniska egenskaperna påverkas av partikelstorleken vilken påverkar en jords stabilitet. Det som skiljer större materialfraktioner från mindre är att de mindre fraktionerna påverkas i en högre grad av de krafter som kan påverka från utsidan. Partikelytan är aktiv då den interagerar med yttre molekyler som luft och vatten, genom adsorption kan dessa lättare bindas till ytan som skikt eller i höljen. Dessa adsorptionshöljen beskrivs vara elastiska, dvs. att ihoptryckning sker genom externa laster vilken ger att vatten frigörs till omgivningen, en motsatt effekt fås av en avlastning där strukturen i stället expanderar och en sugkraft suger till sig vatten från omgivningen (Beskow, 1933).

Detta innebär alltså att trycket påverkar krympnings-, och svällningstillståndet vilket direkt påverkar vatteninnehållet. Finkorniga jordarter har en högre andel adsorptionshöljen och därmed en större volym att påverkas med. Kapillärtrycket i en finkornig jordart är avgörande för bärigheten, ett kapillärsystem som är delvis vattenfyllt leder till ett sugtryck vilket för partiklarna närmare varandra och ger en högre stabilitet. Om vatten däremot förs till detta material kommer vattnet att sugas upp och motverka denna stabilitet (Beskow, 1933).

Tjälproblematik kan motverkas genom exempelvis att öka överbyggnadstjocklekarna med icke-tjälkänsligt material, tjälisolering samt god dränering och avvattning av vägkonstruktionen (Gandahl, 1987). God täthet, avvattning och dränering motverkar att vattnet kan påverka konstruktionen vilket direkt ger en bättre bärighet under längre tid. Konstruktioner som använder sig av en större mängd grovt material såsom grov sten ökar bärigheten i samband med vattenfyllda konstruktioner (Beskow, 1931). Att minimera hur lång tid konstruktionen kan komma i kontakt med fukten är fördelaktigt (Beskow, 1930).

2.5. Multifunktionella ytor

Det hårdgörs allt fler ytor i den urbana miljön på grund av efterfrågan på bostäder och infrastruktur för transporter, hårdgjorda ytor gör det dock svårt för vatten att perkolera. Stannar vattnet på ytan kommer det att påverka konstruktionerna då dagens konstruktioner är känsliga för vattnets påverkan, därför bör vattnet tas hand om på ett lämpligt sätt. Ett sätt som fungerar är att avleda vattnet genom ett VA-system. VA-systemets kapacitet är däremot begränsat, samtidigt ökar regnvolymer mer till följd av klimatpåverkan (Carlsson et. al., 2023; Boverket, 2010). Ett överbelastat VA-system kan bli överfullt på grund av dagvatten och leda till översvämningar, vilket i sin tur kan leda till materiella skador (Svensk Markbetong, 2019). Bortledning och hantering av dagvatten från samlad bebyggelse innefattas i lagen om allmänna vattentjänster I 2 § (Boverket, 2015).

Ett verktyg för att kunna motverka denna negativa trend i de bebyggda områdena är en så kallad multifunktionell yta. Multifunktionella ytor är ett begrepp för olika typer av ytor där interaktion kan ske mellan vatten, vegetation och hårdgjorda ytor. Ett exempel kan vara en nedsänkt fotbollsplan, som vid större mängd nederbörd kan agera som ett vattenmagasin. På så sätt uppfylls flera funktioner samtidigt. En annan form av multifunktionell yta kan vara implementeringen av växtbäddar i en annars urban miljö som präglas av det hårdgjorda. På detta sätt samlas därför flera funktioner i en yta, dvs. exempelvis att vattnet perkolerar ner till växtbäddens nedre delar och fördröjs vilket minskar trycket på VA-systemet, vattnet renas, och temperaturer sänks på grund av växtligheten (Boverket, 2010).

I Sverige finns det stora osäkerheter kring hur en förändring av vägens uppbyggnad från traditionell vägbyggnad med nollfraktioner till en öppen multifunktionell konstruktion kan påverka vägens tillstånd. Främst ses det över faktorer som den tekniska livslängden, bärigheten och hur den agerar gentemot det nordiska klimatet vilket lett till att utvecklingen varit sval på denna front (Rahman et. al., 2017).

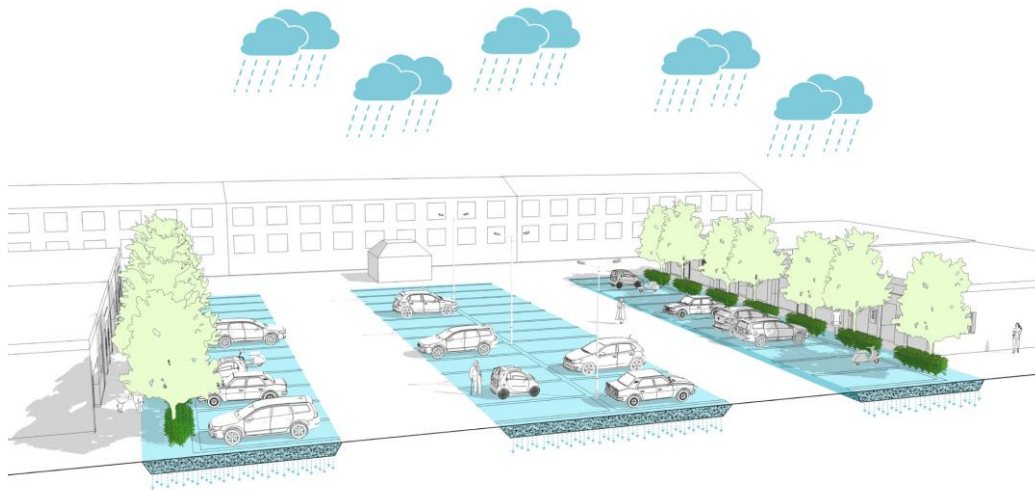
Nya konstruktioner behöver tillgodose många behov i en begränsad yta i staden. Exempelvis bör konstruktionen klara av trafiklasten som den kommer att utsättas för vilket innebär krav på bärighet, men även ha en porstorleksfördelning som motverkar att rötters tillväxt påverkas negativt i den bebyggda miljön. Dessutom behövs det goda permeabilitets-, och porositetsegenskaper för att både ha tillräcklig genomsläpplighet av vatten in till konstruktionen, och ha en god lagringskapacitet. Detta kan enbart ske då de finare fraktionerna förs bort ur konstruktionen då dessa fraktioner är vattenkänsliga och motverkar att vatten kan infiltreras genom konstruktionen (Hellman et.al., 2022).

2.5.1. BGG-system

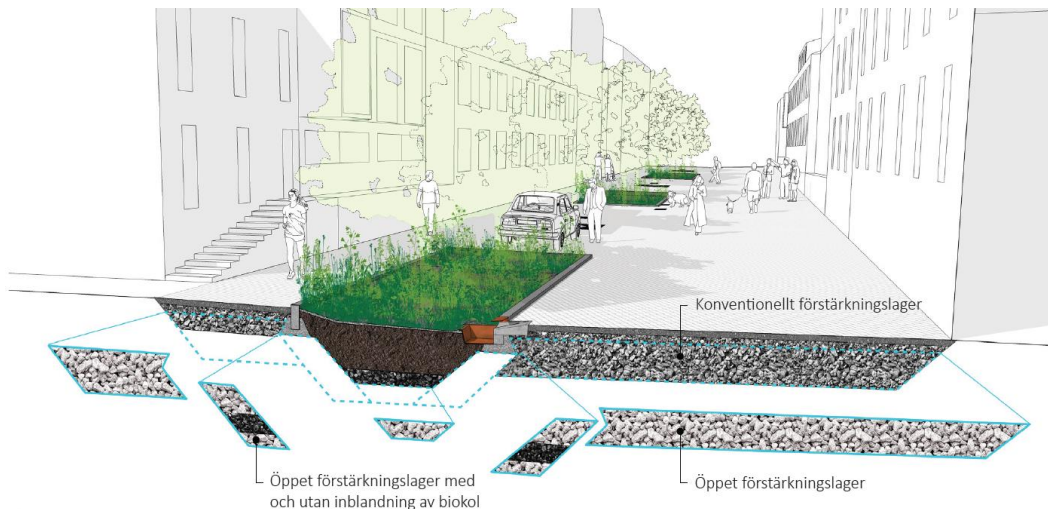
Ett BGG-systemen kan rena och lagra dagvatten men fortfarande klara av en del trafikbelastning som den utsätts för. Förstärkningslagret i ett BGG-system konstrueras utan nollfraktioner. Större fraktioner ger större porvolym vilket gynnar de dränerande egenskaperna men med en kompromiss i form av en lägre bärighet (Edge, 2019). Enligt Edge (2019) gäller lösningarna som föreskrivs i denna handbok enbart för en bärighetsklass 1 eller trafikklass 2, detta antas betyda 500 000 till 1 000 000 standardaxlar enligt Svensk Markbetong (2019).

Speciellt för BGG-system jämfört med de konventionella konstruktionerna är främst två faktorer vilka är makadamen i förstärkningslagret och den kontinuerliga närvaron av vatten. Närvaron av vatten kan påverka stenarnas kontakt med varandra vilken är viktig för bärigheten. Däremot har BGG-system högre hålrums halt och högre permeabilitet på grund av makadamen vilket ger snabbare samt mer tillgänglig yta för vatten att förflytta sig på utan att stenarna tappar kontakt med varandra (Hellman et. al., 2022).

Parkeringområden, torgytor, GC-tytor eller även möbleringszoner kan utnyttjas för att ha ett sammanhängande stråk av öppen överbyggnad i samband med så kallad öppet förstärkningslager där vattnet magasineras i överbyggnadens nedre lager, se Figur 6 och 7. På grund av överbyggnadens dränerande egenskaper krävs ingen lutning eller bombering av vägkonstruktionen (Edge, 2019).



Figur 6: Parkeringsområde kan byggas för BGG-ändamål (Edge, 2019).



Figur 7: GC-område eller flexzon kan byggas för BGG-ändamål (Edge, 2019).

BGG-system kan utformas för att motverka att vattnet endast belastar den lägsta delen av förstärkningslagret. Detta sker genom bland annat avbrott, det vill säga att varje enskilt BGG-system begränsas med en sektion av överbyggnad som innehåller nollfraktion, tät duk eller liknande för att stoppa vattnets väg. Avbrotten kan variera mellan 20–40 meter, och underlättar även för att ledningar kan korsa systemet (Edge, 2019).

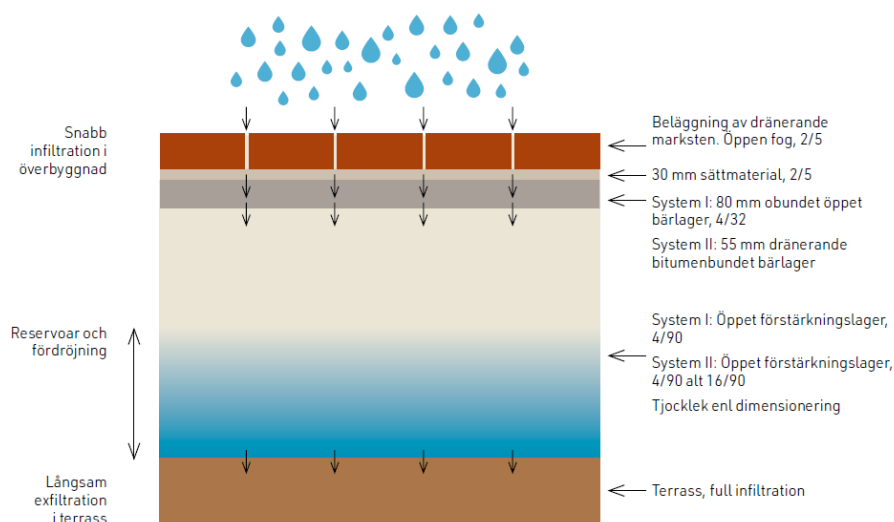
Packningen kan vara svår att få till för dessa system då nollfraktionerna inte används, därför bör bärigheten testas med exempelvis statisk plattbelastning för att säkerställa en god kvalitet på konstruktionen. Förstärkningslager läggs ut i olika lager om maximalt 250 mm och packas med en vibroplatta på 400 kg med 8 överfarter per lager. Det krävs fler överfarter än de som nämns i AMA till följd av storleken och fuktigheten av materialet för att packas ordentligt (Edge, 2019).

Luftnings-, eller perkolationsbrunnar kan införas i konstruktionen för att underlätta för gasutbytet mellan växtlig och omgivning eller för att underlätta för vattnet att perkolera i samband med tätare beläggning. Detta är särskilt viktigt i samband med tätare konstruktioner där växtligheten kan påverkas av syrebrist. Alla brunnar har ett sandfång för att motverka tilltäppning i konstruktionens nedre delar på grund av att finmaterial kan följa med vattnet och åka in i förstärkningslager. Även styrningsbrunnar kan införas för att omfördela inkommande dagvatten mellan olika växtbäddar genom de olika avbrotten. En hög vattennivå kan påverka konstruktionen en hel del, speciellt då terrassens infiltration kan vara långsam (Edge, 2019).

2.5.1.1. Dränerande överbyggnader

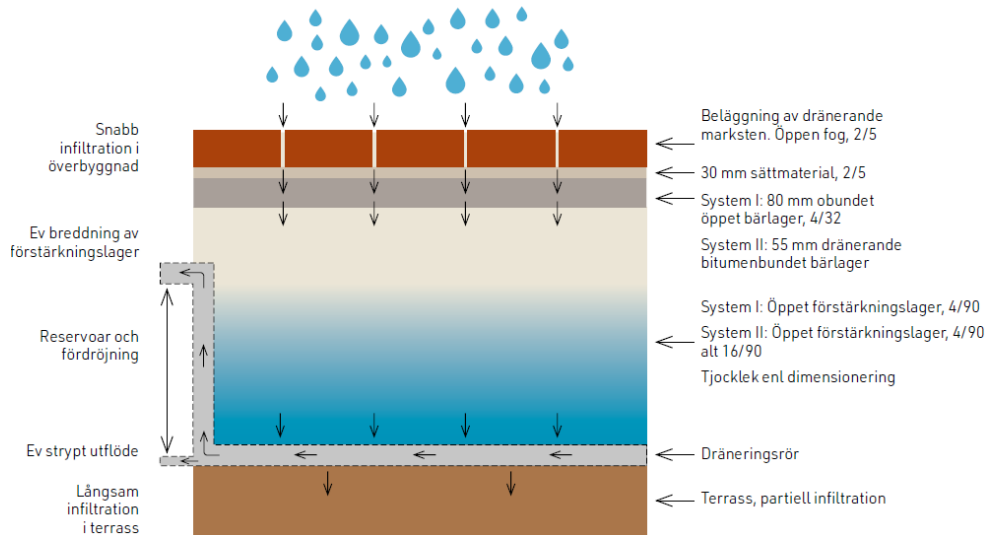
Dränerande överbyggnader tillåter högre trafiklastar upp till trafikklass 3 eller 4 (Edge, 2019). Dränerande överbyggnader konstrueras främst på två olika sätt, genom obunden konstruktion (System 1) eller konstruktion med bundna lager (System 2). Utöver dessa konstruktioner finns även överbyggnader med tät icke-permeabel beläggning (System 3) som låta vatten föras ner vatten till förstärkningslagret genom perkolationsbrunnar. Idén med samtliga konstruktionstyper är att klara av trafiklasten och föra ner vattnet genom konstruktionens övre delar till de undre lagren. Beroende på behoven kan dessa tre typer även få varierande infiltrationskapacitet, det vill säga att konstruktionerna kan få full, partiell eller ingen infiltration. Dessutom krävs en god undersökning med hänseende till grundvattnet i området. En grundvattenhöjning kan påverka konstruktionens bärighet (Svensk markbetong, 2019).

Konstruktionstyperna av obunden och bunden typ kan agera som vattenmagasin där volymen främst beror av storleken på förstärkningslagret. I samband med full infiltration kan Figur 8 visa hur en typisk konstruktion av dessa kan se ut i praktiken. Så länge förstärkningslagret inte blir vattenfyllt sker ingen ytavrinning (Svensk markbetong, 2019).



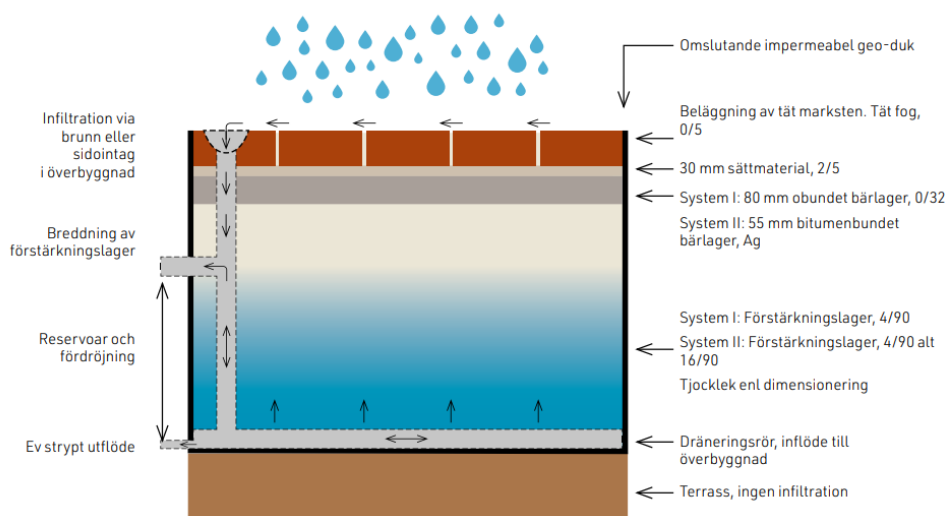
Figur 8: Typisk uppbyggnad för en öppen överbyggnad, full infiltration (Svensk markbetong, 2019).

För att motverka problem med exempelvis översvämning på grund av sämre permeabilitet i terrassmaterialet kan ett dräneringsrör föras in, se Figur 9. Dräneringsröret leder antingen till VA-nätet eller vidare till andra fördröjningsanläggningar för att inte överbelasta konstruktionen (Svensk markbetong, 2019).



Figur 9: Typisk uppbyggnad för en öppen överbyggnad, partiell infiltration (Svensk markbetong, 2019).

I samband med exempelvis lägre bärighet eller väldigt låg permeabilitet för terrassen ska konstruktionen förbli utan infiltration. En omslutande och impermeabel geoduk förs genom de yttre delarna av konstruktionen för att hålla inne vattenvolymen, se Figur 10. Även här finns en dräneringsledning för att föra bort överblivet vatten. För täta konstruktioner kan vattnet som sprids längre ner leda till bärighetsproblem och geoduk kan därför vara lämplig (Svensk markbetong, 2019).



Figur 10: Typisk uppbyggnad för en tät överbyggnad, ingen infiltration (Svensk markbetong, 2019).

Fogmaterialet mellan markstensbeläggnings kan medge högre eller lägre infiltration till underliggande konstruktionsdelar beroende på kornstorlek. En större fogarea utgör en högre andel vatten som kan infiltrera ner, för hög fogarea kan däremot påverka bärigheten genom sämre lastfördelning. Både fogen och sättlagret som används i en dränerande beläggning ska vara av fraktion 2/5 och ger god infiltration över tid med porvolym över 35 % (Svensk markbetong, 2019).

Det krävs särskild eftertanke för att undvika materialomblandning i samband med materialval för olika obundna lager såsom för sättmaterial, obundet bärlager samt förstärkningslager. Alltför stora skillnader mellan kornstorlekarna för dessa material kan leda till tidiga sättningar och problem för bärigheten. Enligt avsnitt 10 nämner Svensk Markbetong (2019) nämner att kriterierna nedan bör följas, se Tabell 7 D_x anger partikelstorlek medan x anger passerad mängd material i procent.

Tabell 7: Kriterium för motverkande av materialomblandning (Svensk Markbetong, 2019).

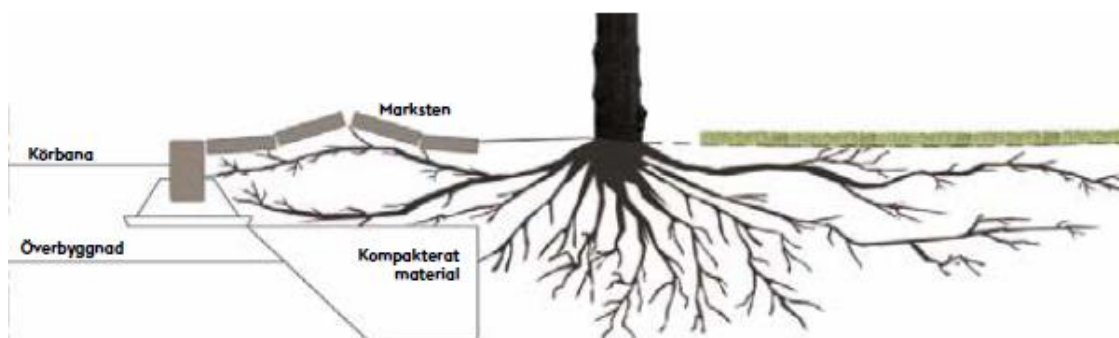
Filterkriterium sättlager - bärlager	$\frac{D_{50,Bärlager}}{D_{50,Sättlager}} \leq 25$
	$\frac{D_{15,Bärlager}}{D_{85,Sättlager}} \leq 5$
Filterkriterium bärlager - Förstärkningslager	$\frac{D_{50,Förstärkningslager}}{D_{50,Bärlager}} \leq 25$
	$\frac{D_{15,Förstärkningslager}}{D_{85,Bärlager}} \leq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

För dränerande konstruktioner av bitumenbunden beläggning såsom ABD bör dessa uppfylla Trafikverkets krav för de bitumenbundna lagren. ABD har initialt en porositet mellan 18–26 % men minskar upp till 50 % efterhand på grund av deformation och smuts som sluter öppningarna. Att säkerställa avvattningen i en konstruktion säkerställs genom att inte låta den överfyllas för att motverka eventuella deformationer eller annan problematik. Tömningstiden bör vara mellan tidsintervallet 24–48 timmar (Svensk markbetong, 2019).

Förstärknings-, och bärlager varierar mellan de olika typerna av konstruktioner. Exempelvis gäller att bärlagermaterial av fraktion 4/32 används för den obundna typen. Fraktion 4/90 används för förstärkningslagret med över 25 % porvolym, 16/90 fraktionen ska däremot ha över 35 % porvolym om denna används som förstärkningslager. Förstärkningslager med kornstorlek 16/90 kan användas för de dränerande respektive de täta konstruktionstyperna. Max andel fillers är 2 % för de obundna lagren då dessa är mer vattenkänsliga, och materialet ska inte vara tvättat. Samtidigt anges att minst 10 % av det minsta materialet ska ha passerat sikten 4 mm men även att minst 5 % ska ha passerat siktstorlek 2 mm av bärighetsskäl. Trafikverkets krav för obundna lager och kornfördelningen enligt AMA DCB.33/1 respektive AMA DCB.24/1 bör uppfyllas för bärlager respektive förstärkningslager (Svensk markbetong, 2019).

2.5.1.2. Växtbäddar

För växligheten innebär den urbana miljön olika problem för tillvaro och tillväxt. De hårdgjorda ytorna kan påverka växterna med trånghet, detta tvingar en del växter att sträcka ut sina rötter under bebyggda ytor såsom en vägöverbyggnad för gång eller cykelbana. Detta leder därmed till konsekvenser för konstruktionens bärighet och jämnhet, se Figur 11. Dessutom kan trängre ytor leda till syrebrist vilket kan negativt påverka växtligheten (Stockholms stad, 2017).



Figur 11: Rotsystem växer ut till gångbana (Stockholms stad, 2017).

Hårdgjorda konstruktioner kan tvinga trädrötter att söka sig till syre och vatten genom att exempelvis växa ner till ledningsbäddar, detta kan leda till skador på ledningarna genom rotinträngningar. Även periodvis saltning och sandning under vintern kan negativt påverka växtligheten. En annan problematik som kan uppstå är anläggningsarbeten där schaktning kan leda till allvarigare skador vid felhantering av växternas rotsystem (Stockholms stad, 2017).

Växtbäddar är en central del av ett BGG-system i städer och anger en planeringsytas hela volym. Växtbädden kan konstrueras med skelettjord eller kolmakadam samt kunna anpassas för diverse växlighet. Samtidigt kan en växtbädd innehålla biokol och andra komponenter såsom luftiga större fraktioner som kan underlätta att växtligheten grov och trivs. Dagvattnet brukar vanligtvis rinna ner till VA-systemet, men med en växtbädd kan vattnet i stället utnyttjas av växtligheten och gynna den. På så sätt minskar även trycket på VA-systemet (Stockholms stad, 2017).

Stockholmsmodellen

Denna modell har sina grunder i danska utredningar under 90-talet där olika blandningar av skelettjordar undersöktes. De luftiga lagren är en amerikansk utveckling där idén var att finna sätt att kunna tillföra gasutbyte mellan konstruktionens växtlighet och omgivningen (Pettersson, 2006).

Innan arbetet med växtbädden kan påbörjas undersöks terrassens täthet, om terrassmaterialet består av lera ska det dräneras väl då leriga lager ger ett tätt skikt. Om terrassmaterialet är för genomsläppligt bör det däremot tätas till med exempelvis lera. Olika typer av växtbäddar kan ha olika bärighetsgrad och utnyttjas på olika sätt, Stockholms stad beskriver några olika uppbyggnader (Stockholms stad, 2017).

Det ena tillvägagångssättet präglas av skelettjord för att skapa luftigare och bättre bäriga ytor, se Figur 12. Skelettjorden är stabil och motverkar kompaktering av växtbädden på grund av större stenfraktioner på 90/150 mm, och innehåller nedspolad växtjord i skelettjordens hålrum. Växtjorden spolas i omgångar in i skelettjorden för att kunna tränga in sig mellan hålrummen samt innehåller låg halt av lera och organiskt material. För att jorden ska beblandas ordentligt läggs den ut i tunna lager och spolas ner till hålrummen i skelettjorden med en hård vattenstråle (Stockholms stad, 2017).

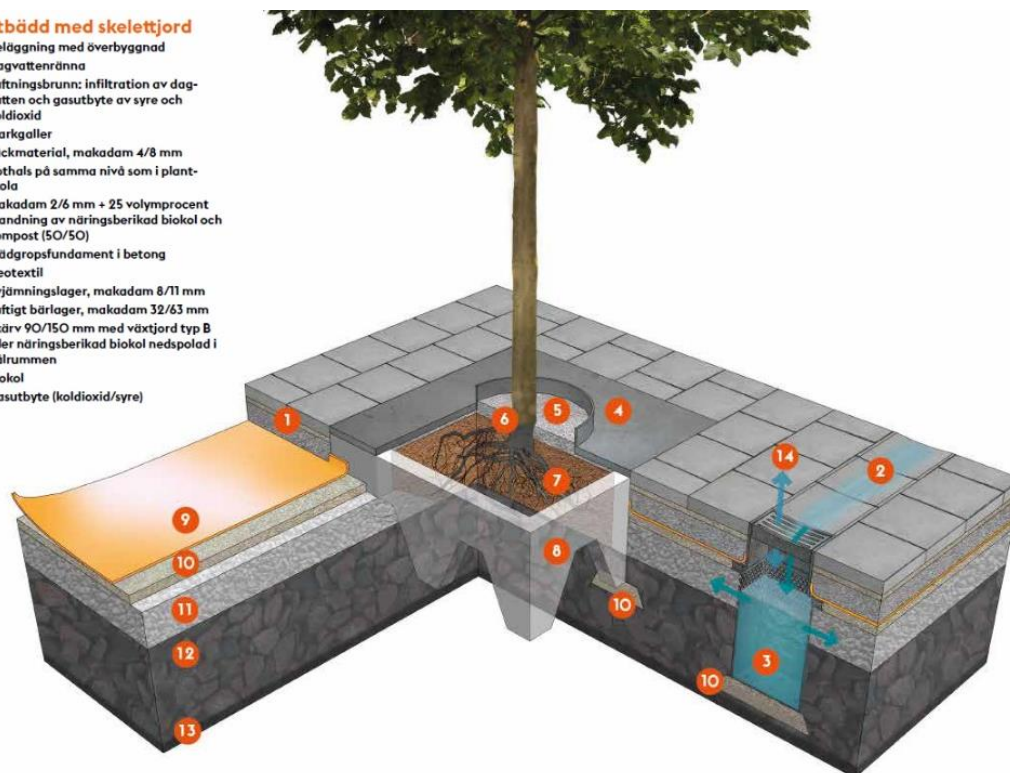
På terrassen läggs ett tunt lager ogödslad biokol för att rena dagvattnet. Luftningsbrunnar tillsammans med ett bärlager 32/64 mm underlättar transporten av luft och vatten till växtligheten om växtbädden behöver anläggas i en hårdgjord yta. Fraktionen 8/11 mm är ett avjämningslager som utgör ett skydd för geotextilen. Geotextilen motverkar blandning av olika lager vilket annars hade motverkat syftet med växtbädden (Stockholms stad, 2017).

Betongfundamentet ska ligga högre än underkanten av betongplattor eller annan beläggning för att undvika att sättningar förekommer i framtiden. Färdigblandad skelettjord som transporteras från leverantörer kan under transportens skede bli alltför kompakt eller leda till sättningar i framtiden, detta gäller dock inte kolmakadam eller pimpstensskelett (Stockholms stad, 2017).

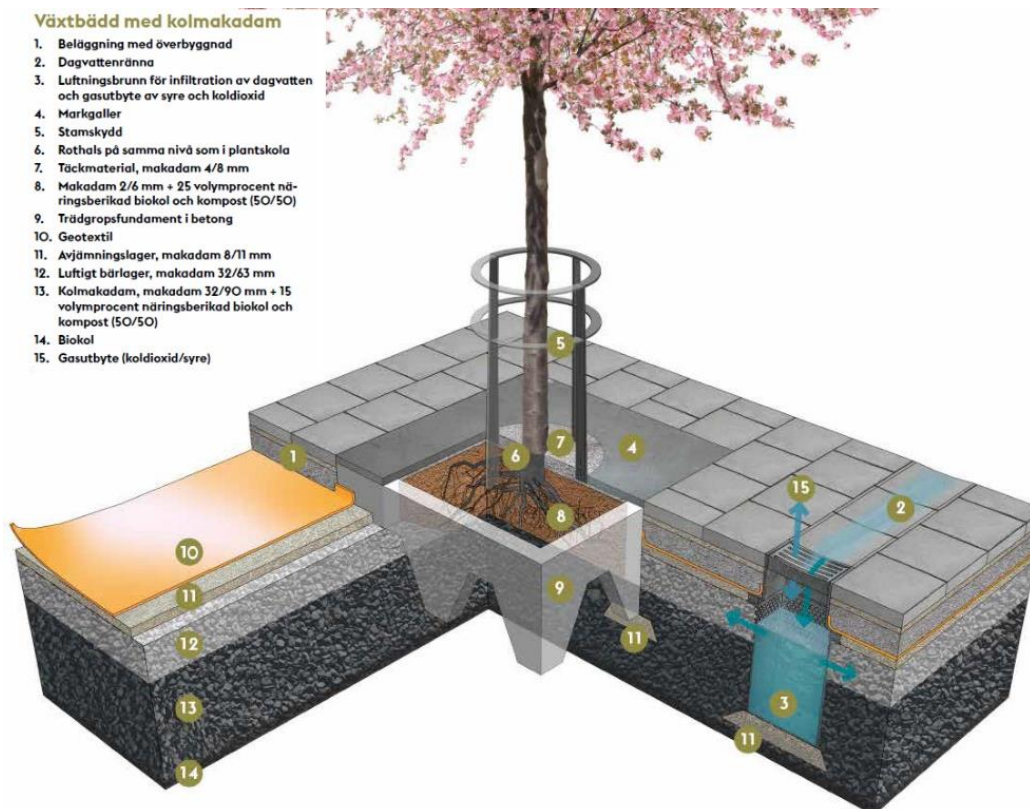
Uppbyggnaden av en växtbädd med kolmakadam skiljer sig inte stort, se Figur 13. Skillnaden ligger främst i kolmakadamen som består av makadam med fraktionerna 32/90mm. Blandningen nämns utgöra en god grogrund och är lättare att anlägga i jämförelse med skelettjordar (Stockholms stad, 2017).

Växtbädd med skelettjord

1. Beläggning med överbyggnad
2. Dagvattenränna
3. Luftningsbrunn: infiltration av dagvatten och gasutbyte av syre och koldioxid
4. Markgaller
5. Täckmaterial, makadam 4/8 mm
6. Rothals på samma nivå som i plantskåla
7. Makadam 2/6 mm + 25 volymprocent blandning av näringsberikad biokol och kompost (50/50)
8. Trädgropsfundament i betong
9. Geotextil
10. Avjämningslager, makadam 8/11 mm
11. Luftigt bärlager, makadam 32/63 mm
12. Skärv 90/150 mm med växtjord typ B eller näringsberikad biokol nedspolad i hålrummen
13. Biokol
14. Gasutbyte (koldioxid/syre)



Figur 12: Växtbädd med skelettjord enligt Stockholmsmodellen (Stockholm stad, 2017).



Figur 13: Växtbädd med kolmakadam enligt Stockholmsmodellen (Stockholm stad, 2017).

Malmömodellen

Precis som Stockholm har Malmö ett tillvägagångssätt för uppbyggnad av växtbäddar. Framst kan skillnaden ligga i att Malmömodellens skelettjord varierar jämfört med Stockholms, makadam av storlek 100/120 mm kan exempelvis blandas med pimpstensfraktion av 2/8 mm, biokol utvunnen ur träflis samt grönkompost där både de sistnämnda består av en 0/20 mm fraktion (Barone, 2021).

Malmömodellen är lik Stockholmsmodellen vad gäller skelettjordens uppbyggnad. Det är tänkt att varje träd ska få minst 15 m^2 skelettjord och en utbredning av $1,5 \times 1,5 \text{ m}$. I första hand grävs marken till ett djup av 200 mm och gödsel kan spridas ut om markens material inte är alltför tätt. Tätare undergrundsmaterial som lera kräver anordningar som exempelvis koppling till dagvattensystemet. Skelettet läggs ut i olika lager och gödningen sker lagervis. En luftningsbrunn per träd införs i höjddled med omgivning av makadam för att underlätta gasutbytet, ett ensamt träd kräver två luftningsbrunnar (Runander, 2014). Idag nämns inga krav på schaktbottenutbredning, men djupet varierar mellan 0,8 – 1 meter. Dessutom nämns numera kravet på 30 m^2 skelettjord. Avjämningslager av fraktion 8/11 används, med tjocklek 50 mm.

Planteringslådan placeras ovan skelettjorden och justeras i höjddled. Trädets rotklump sätts på rotkuddar av pimpsten för att motverka sättningar, ovan denna del fylls bärlager av fraktion 32/63 mm och 200 mm djup. Ovan bärlagret sätts en geotextil för att motverka beblandning av material. Växtjord införs i planeringslådan och markgaller införs därefter. I

samband med parker kan undervegetation användas i stället för markgaller (Runander, 2014). Bärlagret nämns idag ha ett djup på 150 mm.

Malmö stad använder sig av pimpsten, grönkompost och biokol i stället för jord. I samband med växtbäddar är pimpsten ett gott tillägg på grund av sin låga vikt och sin förmåga att bevara vatten, tillsammans med sin porositet som ger en god lufttillgång. Däremot kan nackdelarna vara exempelvis bristen i att lagra näring, dessutom måste stenen transporteras långa sträckor då den enbart finns på platser med aktiva vulkaner såsom Island (Gabrielsson & Stål, 2020).

På grund av tätheten som grönkomposten besitter kan det bli svårt för luft att ta sig in, dessutom har komposten ett högt pH-värde vilket kan leda till konsekvenser för växtligheten om för stor andel blandas in. En inblandning av mellan 25–50 % ger goda resultat och kan underlätta med näringsintaget, samtidigt kan införd näring lagras och bevaras under en längre period (Hålam, 2015).

Göteborgsmodellen

Göteborgsmodellen har delvis sin grund i den så kallade Leca-gropen, inspirerad från bland annat Tyskland. Leca-gropen var tänkt att byggas upp av 2/3 krossade lecablock och 1/3 jord där de krossade lecablocken skulle underlätta gasutbytet och vattentillförseln. Ett mothåll i form av stålrör krävdes för att motverka att skelettjorden pressas in i planteringsgropen (Pettersson, 2006).

För Göteborgsmodellen är det viktigt att anlägga två separata skelettjordar vilka kallas Mineraljord skelett och Växtjord skelett. I den nedre skelettjorden, Mineraljord skelett, ska inblandning av organiskt material undvikas. Detta då det organiska materialet kräver syre i samband med nedbrytning vilket då kan skapa syrefria förhållanden i samband med täta terrasser (Pettersson, 2006). Lerhalten i undergrundens material i Göteborg är hög vilket kräver en hög lerhalt i skelettjorden, det går därför inte att vattna ner jorden in i makadamen (Runander, 2014). Dock är detta inga problem för den övre skelettjorden, organiska material kan införas här. Det organiska materialet som främst används är mull (Runander, 2014; Pettersson, 2006).

Mineraljord skelett läggs på en geotextil för att motverka beblandning med andra material. Skelettjordarnas krossmaterial av fraktion 90/150 mm står för 65 % av blandningen. De olika skelettjordarna är cirka 200 – 250 mm tjocka vardera vilket innebär en knapp halvmeter tjocklek, dessa läggs ut i två lager. För att motverka materialblandning läggs lagren ut med skopa i stället för att tippas ner då jordmaterialet är lättare än makadamen. Båda lagren packas med tung skopa eller padda efter utläggningen för att stabiliseras och tryckas ut mot omgivningen (Runander, 2006). Innan den övre skelettjordsdelen Växtjord skelett läggs ut behöver en stålcylinder införas på Mineraljord skelett. Efter att stålcylindern införts och Växtjord skelett lags ut kan växtjord fylla cylindern. Cylindern tas därefter ut och trädplanteringen kan nu utföras (Runander, 2014). Idag nämns skelettjorden enbart bestå av fraktionen 32/63 mm på en tjocklek av totalt 950 mm och ett avjämningslager på 50 mm av fraktionen 8/12 mm. Schaktbotten krävs till att vara 3,3 meter bred och med minst 25 m² skelettjordsmaterial.

Med denna insikt infördes detta i planeringen för Göteborg, däremot förblev en del frågeställningar och osäkerheter kring detta nya tillvägagångssätt kvarstående. Exempelvis ställdes frågor om hur mycket laster en sådan konstruktion kan tåla. Skelettjordarna i Göteborgsmodellen är till skillnad från Stockholmsmodellen prefabricerade och därefter utlagda, det vill säga att skelettjordarna förberetts innan de lagts ut på plats. Stockholmsmodellens skelettjord införs på plats i olika lager för att kunna föra in jorden med hjälp av bevattning (Pettersson, 2006).

Idag har Göteborgs stad dock ett tillvägagångssätt som liknar Malmös, dvs. att de använder sig av materialen pimpsten, biokol och grönkompost i sin blandning för utförandet av skelettjordar även om fördelningen av de olika komponenterna kan variera mellan städerna. Skelettjorden är fortfarande uppdelad i två delar, en mineralrik skelettjord under en skelettjordskonstruktion med organiskt material, främst mull (Pettersson, 2006).

Skillnader och likheter mellan städerna

I denna del sammanfattas de kraven för städerna Malmö, Stockholm och Göteborg. Städernas växtbäddskonstruktioner skiljer sig emellan. Materialvalet skiljer sig mellan de olika städerna, men även växtsubstratet är olikt. Skillnaderna mellan skelettjordskonstruktionen presenteras i Tabell 8 och 9 nedan.

Tabell 8: Skelettjordskonstruktioner och växtsubstrat, innehåll och tjocklekar för olika städer.

Material	Malmö	Stockholm	Göteborg
Avjämningslager	8/11, 50 mm	8/16, 50 mm	8/12, 50 mm
Luftigt bärlager	32/63, 150 mm	32/90, 500-750 mm	32/63, 150 mm
Förstärkningslager	100/120, 600-800 mm	90/150, 0-250 mm	32/63, 800 mm
Växtsubstrat	100 $\frac{l}{m^2}$ 70 % pimpsten 2-8 20 % grönkompost 10 % biokol	7,5 vol-% biokol 7,5 vol-% grönkompost	5 vol-% biokol 5 vol-% pimpsten 2-8 5 vol-% grönkompost
Växtsubstrat nära rotklump	100 $\frac{l}{m^2}$ 70 % pimpsten 2-8 20 % grönkompost 10 % biokol	12,5 vol-% biokol 12,5 vol-% grönkompost 75% makadam 2/6	Växtjord A/B

Tabell 9: Kravställning djup, volym och bredd för de olika städerna.

Krav typ	Malmö	Stockholm	Göteborg
Min. djup	800 – 1000 mm	1050 mm	1000 mm
Min. volym	30 m ³	15 m ³	25 m ³
Min. bredd	-	-	3,3 m

2.6. Bärighetsutvärdering

Det krävs analysmetoder för att bedöma hur vägkonstruktionen mår i olika stadier av sin livslängd, och eventuellt bestämma åtgärder vid behov. Metoderna kan delas in i två olika kategorier, fältmätningar och laboriermätningar, vilka resulterar i information om vägens tillstånd och bärighet (Agardh & Parhamifar, 2014).

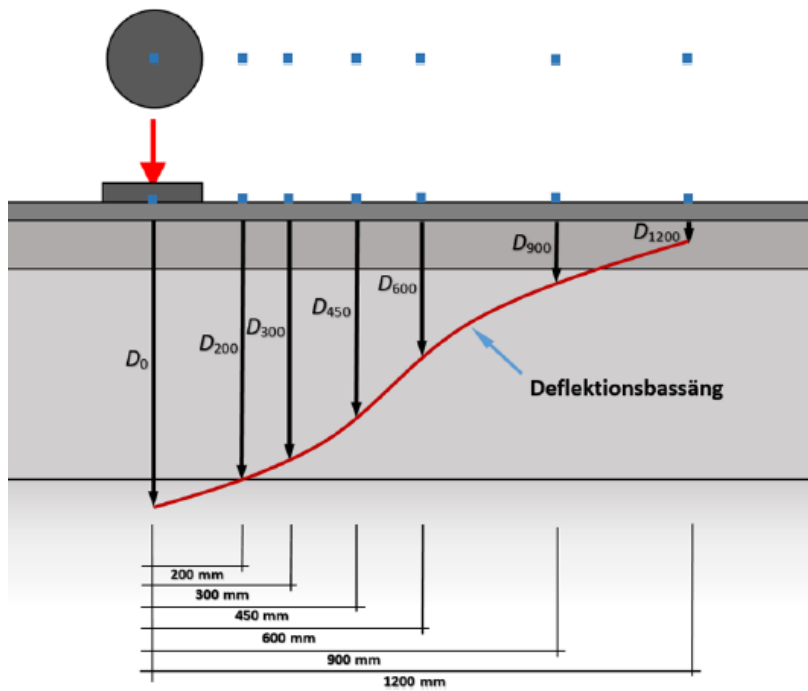
Många aspekter behöver ses över för att förstå en vägkonstruktions förväntade tillståndsutveckling, aspekter såsom styvhet, packningsarbete, klimat, trafikmängd med mera. Med hjälp av fallvikt kan en konstruktions-, men även materialens tekniska egenskaper förstås. Statisk plattbelastning är ett verktyg för att undersöka och säkerställa om olika lager, särskilt makadamen i en växtbäddskonstruktion, har packats till en tillräcklig nivå så att kontakt mellan stenarna säkrats. Stenskelettets bärighet beror framför allt på att stenmaterialet kan överföra lasten ner genom kontakt mellan de olika stenarna, annars kan det uppstå permanenta deformationer i konstruktionen (Hellman et. al., 2022).

I kommande avsnitt kommer de två olika mätningförfarandena fallvikt och statisk plattbelastning att behandlas då dessa är aktuella för att bedöma de valda sträckornas bärighet. Dessutom kommer okulärbesiktning att kort beskrivas, ett förfarande som kan vara ett gott tillägg till bärighetsmätningar.

2.6.1. Fallvikt

Fallvikt är ett belastningsverktyg där en vikt släpps ned på en platta på 300 mm i diameter vilken överför lasten vidare till underliggande yta. Med hjälp av denna metod kan deflektionen av en vägyta mätas i olika punkter i relation till lastens centrum. Fallvikten ger normalt en kraft på 50 kN vilket motsvarar hjullasten från en standardaxel. Från olika deflektioner kan en deflektionsbassäng illustreras, se Figur 14 (Trafikverket, 2020).

När indata fås ska resultaten granskas för uppenbara fel eller för resultat som inte lämpar sig för analysmodellen. Exempel på sådana fel kan vara onormalt utseende för deflektionsbassängen, till exempel att deflektionsbassängens djup inte minskar stegvist från belastningscentrum (TDOK, 2020).



Figur 14: Illustration av fallviktsapparat och deflektionsbassäng (TDOK, 2020).

Vidare nämns i TDOK (2020) att enkla mått kan användas för att beskriva det strukturella tillståndet i en väggropp, se Tabell 3. Innan de enklare måtten kan användas ska resultaten normeras, det vill säga att de ska efterlikna den nominella belastningsnivån. Mätningen blir underkänd om avvikelserna mellan dessa belastningsnivåer överstiger 5%.

Tabell 3: Redovisar de enklare bärighetsmåten (TDOK, 2020).

Beteckning	Förklaring	Ekvation
SCI	Mått på styvheten i väggkonstruktionens övre del. Enhet är μm .	$SCI = D_0 - D_{300}$ (4)
BCI	Mått på styvheten i väggkonstruktionens mellersta del. Enhet är μm .	$BCI = D_{300} - D_{600}$ (5)
BDI	Mått på styvheten i väggkonstruktionens nedre del. Enhet är μm .	$BDI = D_{600} - D_{900}$ (6)
E_r	Mått på väggkonstruktionens styvhet under en vald deflektionsgivare med djup r och neråt. Enhet är MPa.	$E_r = \frac{1000 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma_0 \cdot a^2}{r \cdot D_r}$ (7) <p>Där</p> <ul style="list-style-type: none"> - ν anger tvärkontraktionstalet - σ_0 anger kontakttrycket under belastningsplattan, belastning på 50 kN ger $\sigma_0 = 0,7$ MPa med plattradie 150 mm

		<ul style="list-style-type: none"> - a anger belastningsplattans radie, normalt 150 mm - r anger avstånd [mm] från deflektionsgivare till belastningscentrum - D_r anger deflektionen [μm] på avståndet r från belastningscentrum
E_0	Mått på konstruktionens styvhet från ytan och nedåt, om underlaget antas bestå av endast ett homogent, isotropt och linjärelastiskt lager. f är en formvariabel som beror av belastningsplattans utformning, värdet för $f = 2$ för en segmenterad platta och $\frac{\pi}{2}$ för en styv platta. Enhet är MPa.	$E_0 = \frac{1000 \cdot f \cdot (1 - \nu^2) \cdot \sigma_0 \cdot a}{D_0} \quad (8)$
E_u	Genomsnittliga styvheten för undergrunden, vilket förklaras som lagret mellan underkanten av överbyggnaden och det maximala djup som lastpulsens från fallviktsapparaten når. Enhet är MPa.	$E_u = \frac{5,2 \cdot 10^4}{D_{900}^4} \quad (9)$

Ytterligare ett bärighetsmått är Bärförmågeindex (BI). Utifrån det måttet samt vägens trafikmängd kan vägen delas in i fyra olika klasser, bärförmågeklass 1–4. En bärförmågeklass 1 kan likställas med en bärförmåga hos en BBÖ eller GBÖ enligt TRVK VÄG medan en klass 4 fyra indikerar på väldigt svåra skador. BI kan beräknas med hjälp av formeln nedan.

$$BI = \frac{1000}{\varepsilon_{a,10}} \quad (10)$$

$\varepsilon_{a,10}$ är den beräknade horisontella dragtöjningen i underkant av beläggningen vid 10 °C eller asfaltens töjning bestämd efter passningsräkning.

$$\varepsilon_{a,10} = \frac{\varepsilon_{a,T}}{\left(\frac{T}{10}\right)^{3,08 \cdot 10^{-8} \cdot h_1^2 \cdot D_0}} [\mu - strain] \quad (11)$$

- $\varepsilon_{a,T}$ anger den beräknade horisontella dragtöjningen i beläggningens underkant vid en viss temperatur [°C] och beräknas enligt ekvationen nedan.
- T är temperaturen i beläggning [°C] men är svårberäknad för temperaturer ≤ 0
- h_1 är beläggningens tjocklek i mm

$$\varepsilon_{a,T} = 37,4 + 0,988 * D_0 - 0,553 * D_{300} - 0,502 * D_{600} [\mu - strain] \quad (12)$$

Styvhetsmodulerna som fås från fallvikt är svåra att ta som vägledande om inte resultaten kan konkretiseras, här kan verktyget FIN Empirical overlay användas. FIN Empirical overlay är ett beräkningsverktyg som kan användas för att bestämma vilken tjocklek på förstärkningslagret som kan medföra ett accepterat ytmodul-värde (Granbom, 2015). De finska värdena kan även användas för att få en uppfattning om mängden tillåtna standardaxlar enligt dimensioneringsmetoden som Svensk Markbetong (2019) använder, se Tabell 4.

Tabell 4: Visar ytmodulvärden vilka ger olika trafikklasser (Svensk Markbetong, 2019; KUAB, 2014).

Antalet standardaxlar (*10 ³)	Accepterad ytmodul [MPa]	Trafikklass
0 - 300	175	1b
300 – 800	190	2
800 – 2 000	265	3
2 000 – 5 000	365	4
5 000 – 10 000	420	5

Nilsson (2020) nämner olika kriterier som kan användas för att utvärdera resultaten från en fallviktsmätning, dessa resultat behöver dock delas in efter vägtypen som avses. Vägtyper kan delas in efter ÅDT enligt Tabell 5 nedan. De olika kriterierna beror av vägtypen, därefter kan ett intervall användas som kan indikera behov av förstärkningsåtgärd, se vidare Tabell 6. I samband med bedömning kommer små-, medelstora och stora vägar att jämföras med lokala, uppsamlings- respektive huvudgator.

Tabell 5: Indelning av vägtyp med trafikflöde som indikation (Nilsson, 2020).

Kategori	Små vägar	Mellanstora vägar	Stora vägar
ÅDT [fordon/dygn]	< 800	800 – 3000	> 3000

Tabell 6: Accepterade intervaller för olika vägtyper innan behov av förstärkningsåtgärd (Nilsson, 2020).

Bärighetsmått	Små vägar	Mellanstora vägar	Stora vägar
Ytmodul [MPa]	200 - 345	350 - 500	500 - 600
Asfalttjocklek [$\mu\text{m}/\text{m}$]	380 - 550	200 - 350	150 - 200

2.6.1.1. Passningsräkning

Passningsräkning som även kallas bakåträkning används för att beräkna E-moduler för olika delar av eller under vägen med hjälp av deflektionsdata. Detta förfarande är iterativt vilket resulterar i en beräknad deflektion, denna jämförs med den uppmätta deflektionen. För godkänt resultat bör de beräknade och uppmätta värdena uppfylla kravet på maximalt 3 % RMS, varefter spänningar och töjningar i lagermodellen kan beräknas.

Beroende på typ av program som används för passningsräkning kan linjärelastiska eller icke-linjärelastiska samband användas. I det linjärelastiska systemet gäller att utsträckningen av lager i den horisontella riktningen är oändliga och att materialen antas homogena, isotropa samt elastiska. Enligt TDOK (2020) nämns att lagrets tjocklek bör minst motsvara halva belastningsplattans radie, vanligtvis 75 mm, i samband med beräkning av E-modulen. Dessutom bör obundna lagers tjocklek vara minst 100 mm för att få rimliga E-moduler. Undergrunden antas vara ett homogent lager vilande på ett styvt skikt på det ungefärliga djupet 3 m under vägen.

2.6.2. Statisk plattbelastning

Denna del behandlar plattbelastning enligt Trafikverkets kravdokument TDOK 2014:0141, första versionen. Statisk plattbelastning är ett testverktyg där jorden på-, och avlastas för att bestämma bärigheten, genom detta verktyg kan det säkerställas att packningen är tillräckligt god.

Belastningen sker genom en cirkulär lastplatta och en hydraulisk tryckutrustning vilket kräver en lastad lastbil, grävmaskin eller liknande anordning som ett tungt mothåll. Lastplattan påverkar underlaget stegvist genom att tryckutrustningen pumpas upp till särskilda nivåer och hålls konstant under en minut. Därefter avlastas ytan, och testas på nytt genom en ny belastningssekvens. För varje belastning mäts deformationen upp, och den maximala lastnivån är 35 kN (500 kPa) för en platta, vanligtvis med radie 150 mm (TDOK, 2014).

Mätningarna utförs i två steg främst då komprimering av ytan sker i den första belastningssekvensen, en väl komprimerad yta kan därför ha liknande resultat för de två olika mätningsskvenserna. För att garantera en god komprimering kan det ställas krav på den maximala kvoten mellan de två mätningarna. Sambandet för medelnormalspänningen under plattan och sättningen ritas i ett diagram för varje enskild belastning, och ur sambandet beräknas styvheten för den första och den andra belastningssekvensen, $E_{v,1}$ respektive $E_{v,2}$. Tryck-sättningslinjen kan fås ut genom att anpassa uppmätta värden till en andragsgradskurva.

2.6.2.1. Utvärdering

Utvärderingen av resultaten sker genom att se över värdena på deformationsmodulen $E_{v,2}$ samt att se över bärighetskvoten. Bärighetskvoten kan beräknas genom ekvationen:

$$\frac{E_{v,1}}{E_{v,2}} \quad (13)$$

Tryck-sättnings sambandet beskrivs genom andragradspolynomet:

$$s = a_0 + a_1\sigma_0 + a_2\sigma_0^2 \quad (14)$$

Där a_0 , a_1 och a_2 är konstanter. Styvhetsmodulen E_v kan beräknas genom formeln:

$$E_v = 1,5 * r * \frac{1}{a_1 + a_2\sigma_{1,max}} \quad (15)$$

Beteckningen r avser belastningsplattans radie och $\sigma_{1,max}$ indikerar maximal medelnormalspänning i samband med den första belastningen. För bedömning om huruvida de erhållna styvhetsvärdena är goda eller inte krävs att dessa värden ska ses över och jämföras med kraven som Trafikverkets kravdokument för de obundna lagren ställer, TDOK 2013:0530. För olika delar av konstruktionen gäller olika krav, se Figur 15 och 16 nedan.

Acceptansintervall:	ett av nedanstående krav ska väljas	
Jordterrass		
500 - 550 mm under obunden bärlageryta = underkant f-lagermaterial	n=8	$\bar{x}_{E_{v,2}} \geq 40 + 0,96 s$
	n=5	$\bar{x}_{E_{v,2}} \geq 40 + 0,83 s$
	G_f om $x_{i,E_{v,2}} < 32$ MPa	
551 - 650 mm under obunden bärlageryta = underkant f-lagermaterial	n=8	$\bar{x}_{E_{v,2}} \geq 30 + 0,96 s$
	n=5	$\bar{x}_{E_{v,2}} \geq 30 + 0,83 s$
	G_f om $x_{i,E_{v,2}} < 20$ MPa	
651 - 750 mm under obunden bärlageryta = underkant f-lagermaterial	n=8	$\bar{x}_{E_{v,2}} \geq 20 + 0,96 s$
	n=5	$\bar{x}_{E_{v,2}} \geq 20 + 0,83 s$
	G_f om $x_{i,E_{v,2}} < 15$ MPa	

Figur 15: Kravvärden för en flexibel konstruktion (Trafikverket, 2017).

Acceptansintervall för flexibel konstruktion		
Bärlager eller Översta obundna lagret	n = 8	$\bar{x}_{E_{v,2}} \geq 140 + 0,96 \cdot s$
	n = 5	$\bar{x}_{E_{v,2}} \geq 140 + 0,83 \cdot s$
I varje enskild kontrollpunkt:		
Om $E_{v,2} \leq 140$ MPa: $E_{v,2}/E_{v,1} \leq 2,8$		
Om $E_{v,2} > 140$ MPa: $E_{v,2}/E_{v,1} \leq 1 + 0,013 \cdot E_{v,2}$		
Antal godkända kontrollpunkter ska vara minst 7 av 8, respektive minst 4 av 5.		
G_f om $x_i < 125$ MPa		

Figur 16: Kravvärden för en flexibel konstruktion (Trafikverket, 2017).

Trafikverkets nya dokument innehåller inga bärighetskrav till förstärkningslagret, däremot finns rekommendationer för detta lager i äldre versioner av Trafikverkets dokument och kan underlätta arbetet i samband med bedömning av bärighet, se Figur 17.

Acceptansintervall för flexibel konstruktion		
Krossat	$n = 8$	$\bar{x}_{E_{v2}} \geq 125 + 0,96 \cdot s$
förstärkningslager*¹	$n = 5$	$\bar{x}_{E_{v2}} \geq 125 + 0,83 \cdot s$
<i>I varje enskild kontrollpunkt:</i>		
	<i>Om $E_{v2} \leq 125$:</i>	$E_{v2}/E_{v1} \leq 3,5$
	<i>Om $E_{v2} > 125$:</i>	$E_{v2}/E_{v1} \leq 1 + 0,020 \cdot E_{v2}$
<i>Totalt: Antal godkända kontrollpunkter skall vara minst 7 av 8, respektive minst 4 av 5.</i>		
<i>G_f om $x_{iE_{v2}} < 110$ MPa</i>		

Figur 17: Kravvärden för en flexibel konstruktion (ATB VÄG, 2005).

2.6.3. Okulärbesiktning

Okulärbesiktning är ett skadekarteringsverktyg som används för att identifiera och kartlägga problematik på en väg med blotta ögat. Okulärbesiktningen beskrivs i en handbok vilken heter "Bära eller brista". Handboken kan underlätta för den som ska besiktiga att dra rätt slutsatser i samband med en besiktning, bland annat ger handboken information om hur olika ytliga skador kan se ut samt underlätta bedömningen av skadenivån, omfattningen och utbredningen av skadan m.m. Med hjälp av detta verktyg kan planering av underhållsinsatser förenklas, svårare skador kan identifieras och sättas högre i en prioriteringslista än andra lindrigare skador för diverse vägbeläggningar. Dessutom kan verktygen ge möjliga orsaker till den givna problematiken. Verktuget kan användas av väghållare såsom kommuner (Ekdahl, 2019).

Med hjälp av okulärbesiktning kan bärighetsrelaterad problematik upptäckas. Bärighetsrelaterad problematik beskrivs i fyra olika fall vilka är spårbildning, sprickor, krackeleringar samt tjäl-, och markprocesser. Klimatpåverkan från temperaturskillnader och nederbördstillförsel, tunga fordon eller en kombination av dessa faktorer anges vara den primära orsaken till bärighetsproblematiken (Ekdahl, 2019).

Den tunga trafiken kan bidra med olika stora belastningar och påkänningar, främst är detta beroende på axellasten. I samband med asfaltbeläggningar kan den tunga trafiken ge högre påkänningar i en väggropp, dessa kan främst ses i samband med att asfalten kavlas i närhet till hjulspåren, se Figur 18 vänster bild. Detta skiljer sig däremot från bärighetsberoende spårbildning, denna spårbildning har ett flackare utseende än den spårbildning som sker på grund av tunt asfaltlager, se Figur 18 höger bild.



Figur 18: Visar spårbildning som sker på grund av tyngre trafik, vänster bild, och bärighetsberoende spårbildning i höger bild.

Dessa påkänningar kan påverka vägkonstruktionens obundna lager eller undergrunden, vilket kan identifieras som deformationer på väggroppen. Efter ett givet antal tunga pålastningar kan asfaltens underkant utmattas vilket leder till sprickor i underkanten, främst är dessa sprickor längsgående eller i närhet av den tunga trafikens spår. Krackeleringar kan förekomma då sprickor inte åtgärdas i ett tidigt skede. Krackeleringar kan i ett tidigare stadie uppstå som tvärgående sprickor, efterhand ökar sprickorna i en given yta. Därmed släpper en del av beläggningen kontakt med resterande beläggning. Ett värre fall av krackeleringar kan innebära att potthål uppstår (Ekdahl, 2019).

Vad gäller tjäl-, och markprocesserna påverkas dessa främst i samband med upptinings-, och frysningscykler. Temperaturvariationerna i samband med vatten i de obundna lagren leder till att de obundna lagrens kontakt och friktion motverkas, vattnet blir som ett smörjmedel och smält-, och töcyklerna leder till oönskade rörelser i väggroppens obundna lager. En minskad friktion och tappad kontakt mellan de olika stenarna leder slutligen till deformationer i stenskelettet, se kapitel 3.4.

Det finns många fördelar med att använda sig av en okulärbesiktning som ett verktyg. Bland annat kan det vara ett simpelt, snabbt och effektivt sätt att bedöma en vägs tillstånd under en kortare period. Dessutom kan verktyget leda till besparingar på den ekonomiska fronten. I vissa fall kan verktyget ge utökad information, exempelvis genom att iakttä hur avvattningen genom diken och andra anordningar fungerar. Verktyget kan däremot anses vara subjektivt till sin natur, dvs. att det beror till stor del på hur den som utför den okulära besiktningen bedömer skadan med hänsyn till individens erfarenheter och kunskaper (Wilén, 2016).

2.7. Tidigare erfarenheter

2.7.1. HVS – provning på dränerande överbyggnader

Rahman et. al. (2017) har utfört tester för spår och bärighet på olika dränerande konstruktioner genom att använda sig av HVS-provning. HVS-provning innebär att lasta testkonstruktioner med last från ett speciellt tungt fordon för att härma trafiklasten under en

vägs livslängd. Ett belastat dubbelt hjul, i detta fall utgörande mellan 30 – 60 kN, körs över en yta med en viss sidolägesvariation och spårdjup mäts kontinuerligt med hjälp av en laserprofilometer placerad vinkelrätt mot hjulets körriktning. Hastigheten är 12 km/h och ringtrycket 800 kPa. Efter 140 000 överfarter infördes i denna studie vatten till terrassen på 30cm höjd och efter 350 000 överfarter höjdes vattennivån till 60 cm för att täcka halva förstärkningslagret. Idén var att vattnet ska visa hur grundvattenhöjningar kan påverka konstruktionerna.

Rahman et. al. (2017) har varierande tillvägagångssätt för att bygga upp en tät dränerande beläggning, i studien användes två tester som exempel. Samtliga konstruktioner är cirka 1050 mm i tjocklek. Uppbyggnaden av konstruktionerna för det ena testet presenteras i Tabell 10 nedan. Det första testet jämförde en dränerande markstenskonstruktion uppbyggd med obundna material, SE23A, med en konstruktion innehållandes ett dränerande asfaltmaterial som bärlager, SE23B. Detta för att se huruvida egenskaperna förändrades mellan den täta och den dränerande konstruktionen i samband med belastningstester

Tabell 10: Uppbyggnaden av konstruktionerna SE23A, SE23B (Rahman et. al., 2017).

Material	Funktion	SE23A Tjocklek [mm]	SE23B Tjocklek [mm]
Starka Uni-Ecoloc	Betongmarksten, beläggning	100	100
Kross 2/32	Genomsläppligt sättmaterial	32	33
AG22, 20–25% hålrum	Bundet bärlager, dränerande	0	101
Kross 2/32	Genomsläppligt bärlager	101	22
Kross 2/90	Genomsläppligt förstärkningslager	832	814

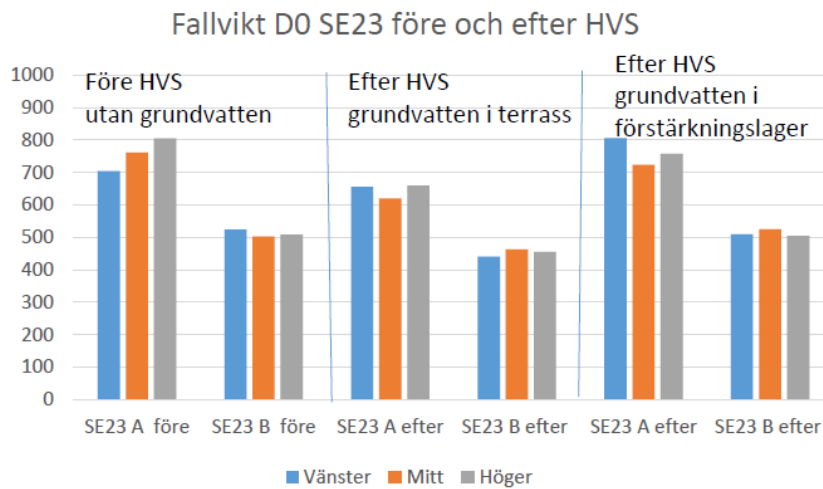
Det andra testet gick ut på att bygga upp täta konstruktioner av stenmaterial med luftiga obundna lager undertill, se Tabell 11. Den ena överbyggnaden har konstruerats av naturstenschällar med obundna lager och kallas SE24A, den andra överbyggnaden kallas SE24B. Konstruktionen SE24B har beläggning av betongmarksten med bundet dränerande bärlager och obundet förstärkningslager (Rahman et. al., 2017).

Tabell 11: Uppbyggnaden av täta konstruktionerna SE24A, SE24B (Rahman et. al., 2017).

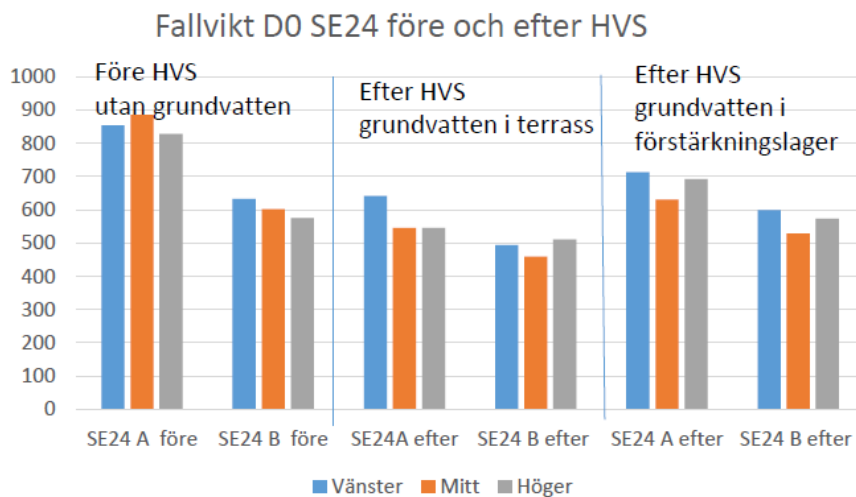
Material	Funktion	SE24A Tjocklek [mm]	SE24B Tjocklek [mm]
Starka Uni-Ecoloc, naturstenschällar	Beläggning	80	0
Starka Coloc	Betongmarksten	0	100
Fogsand	Enl. AMA DCG 2/2	0	
Kross 2/5	Genomsläppligt sättmaterial	26	24
AG22 70/100	Dränerande bundet bärlager	0	55
Kross 0/32	Obundet bärlager	104	101
Kross 16/90	Luftigt förstärkningslager	832	832

Resultaten från studien visar att de första tusen passagera ger snabb utveckling av spårdjup i de fyra olika konstruktionerna. Högre andel asfalt i konstruktionen minskar spårdjupet. Dessutom påvisade resultaten att konstruktionerna var känsliga för grundvattenhöjningar, ju högre vattennivå desto mer påverkar konstruktionens obundna lager. Se Figurena 19 och 20 (Rahman et. al., 2017).

Fallviktsmätningar utfördes en gång före testets början och två gånger efter testets avslut för att kvantifiera påverkan från vatten på terrassen och förstärkningslagret (Rahman et. al., 2017).



Figur 19: Illustrerar D0-värden för fallviktsmätning på konstruktion SE23A & SE23B (Rahman et. al., 2017).



Figur 20: Illustrerar D0-värden för fallviktsmätning på konstruktion SE24A & SE24B (Rahman et. al., 2017).

Rahman et. al. (2017) påpekar att större fraktioner ger svårare packning på grund av bristen på nollfraktioner, därför har 2/32 respektive 2/90 millimeters fraktionerna används för

studien. Grövre fraktioner har en större risk för förflyttning i sidled och omlagringar vilket påverkar stabiliteten och bärigheten. Omlagring sker på grund av att hålrummen i materialen är stora nog att fogmaterial och sättmaterial slinker ner i konstruktionens lägre delar. Sättagret bör förbli tunt då det är omöjligt att undvika efterpackning. Ytterligare en erfarenhet som läggs fram är att packningen inte blir tillräckligt bra efter 6 överfarer, därför är det bra att använda sig av plattbelastning för att säkerställa packningsgraden (Rahman et. al., 2017).

Skelettjordarna uppförs med större makadamlager av storlek 32/63, 100/120 samt 90/150 mm. Högre andel hålrum medför sämre bärighet och ökad spårdjupsutveckling. Mindre fraktioner av exempelvis 2/32 eller 2/90 har jämfört med större fraktioner en högre bärighet och kan därför lättare användas i samband med tung trafik. Växtligheten gynnas däremot främst av luftigare fraktioner såsom 16/32, 16/90 eller 32/90. En annan viktig aspekt är att i största mån undvika att vatten står still i konstruktionen under en längre period då konstruktionerna inte är byggda för att låta vatten vara kvar (Rahman et. al., 2017). En längre period antas vara över två dygn för dränerande markstensbeläggningar, och ett dygn för växtbäddar med öppna förstärkningslager (Edge, 2019; Svensk Markbetong, 2019). Oavsett påpekas skelettjordar med hög styvhet över tid om gedigen stabilitetstestning och planering utförs (Rahman et. al., 2017).

2.7.2. Multifunktionella urbana dagvattenanläggningar

I Formas- projektet "Multifunktionella urbana dagvattenanläggningar" nämner Hellman et. al., (2022) att olika BGG-konstruktioner har testats nationellt. I detta projekt gjordes även en uppföljning med hjälp av fallviktsmätning för att bedöma bärigheten. I denna studie sammanfattas resultaten av dessa referensanläggningar. Ytterligare information finns att tillgå i projektets rapporter.

2.7.2.1. Rosendal i Uppsala

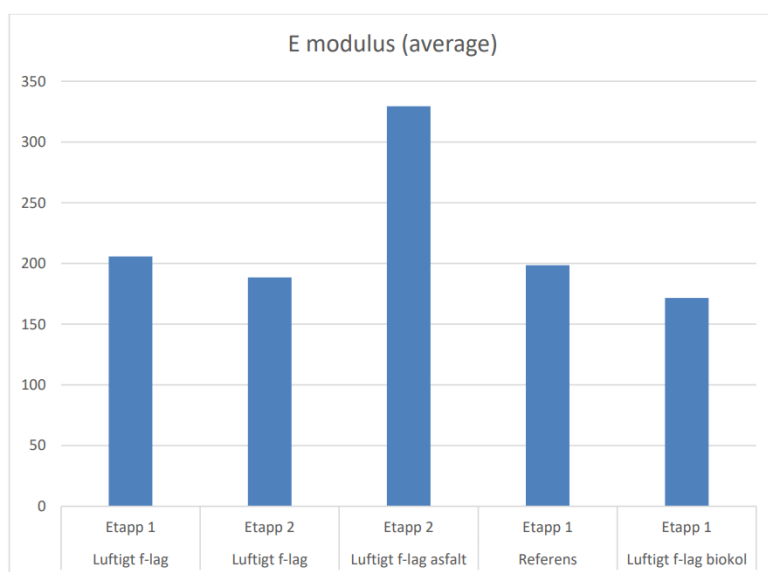
I Rosendal finns fem olika lösningar för BGG-systemen vilka är konstruerade på olika sätt. Dessa olika BGG-system har delats upp i så kallade etapper på grund av liknande uppbyggnader och lagertjocklekar, se Tabell 12. Etapp 1 innebär att en del av gatukonstruktionen har öppet förstärkningslager, exempelvis GC-ytor eller ytor i flex-, och möbleringszonen som är sammankopplade genom förstärkningslagret men där körbana är exkluderad. Etapp 2 innebär att hela gatussektionens förstärkningslager är sammankopplat. Hellman et. al. (2022) nämner att gatan i etapp 2 krävde bättre bärighet på grund av den höga trafikvolymen, denna del har därför konstruerats med ett bitumenbundet bärlager.

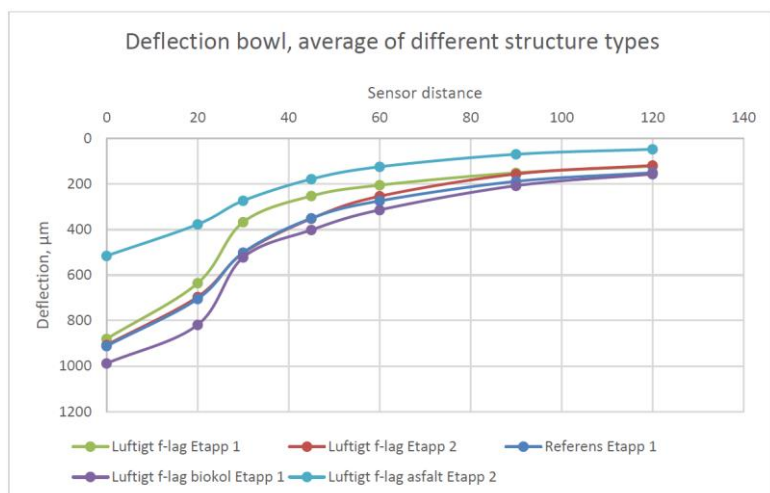
En av konstruktionerna var inte färdigställd i samband med bärighetsanalysen. Denna bestod av ett bitumenbundet bärlager med ett öppet förstärkningslager av fraktion 22/90 men utan en tilltänkt markstensbeläggning. Däremot utfördes ändå fallviktsmätning på denna konstruktion. Som en referensyta har en standardkonstruktion konstruerats enligt överbyggnadstabellen nedan.

Tabell 12: Överbyggnadstabell för olika etapper av Rosendal (Hellman et. al., 2022).

Material	BGG Ettapp 1 [mm]	BGG Ettapp 2 [mm]	Referenskonstruktion Ettapp 1 [mm]
Betongmarksten	70	80	70
Sättmaterial 2/4	30	30	30
AG 22, 70/100	-	50	-
Obundet bärlager 0/32	80	80	80
Öppet förstärkningslager 22/90	1000	490	-
Förstärkningslager 0/90	-	-	1000
Öppet förstärkningslager 32/63	100 – 200	-	-
Avjämning/skyddslager 0/8	100	100	-

Resultatet för de olika konstruktionerna redovisas nedan, se Figur 21. Enligt resultaten konstateras att BGG-konstruktionerna jämförbara med referenskonstruktionen, ytmodulerna för BGG-systemen ligger mellan 170 – 205 MPa medan referenskonstruktionens är 199 MPa. Enligt Hellman et. al. (2022) konstateras att det asfaltbundna bärlagret inte gav ett stort tillägg till bärigheten i jämförelse med resterande konstruktioner. Bäst ytmodul hade dock den ej färdigställda konstruktionen med asfaltlagret. Skillnader mellan dessa resultat kan enligt Hellman et. al. (2022) relateras till platsen och påverkas av exempelvis hur god packningen varit med hjälp av padda eller på grund av att trafiken packar överbyggnaden.





Figur 21: Illustrerar deflektionsbassäng och ytmodul för Rosendal (Hellman et. al., 2022).

2.7.2.2. Campus Vellinge

I Vellinge har BGG-lösningar utförts i samband med förtättningsprojektet Campus Vellinge. Olika överbyggnadstyper har använts i detta projekt, exempelvis gångyta med markstensbeläggning samt en cykelväg med asfaltbeläggning (se Tabell 13). Under båda dessa överbyggnader finns ett kontinuerligt luftigt förstärkningslager. Dessutom har en gräsarmerad parkeringsyta med underliggande luftigt lager testats. Som referens användes en konventionell asfalterad körtyta enligt Tabell 14.

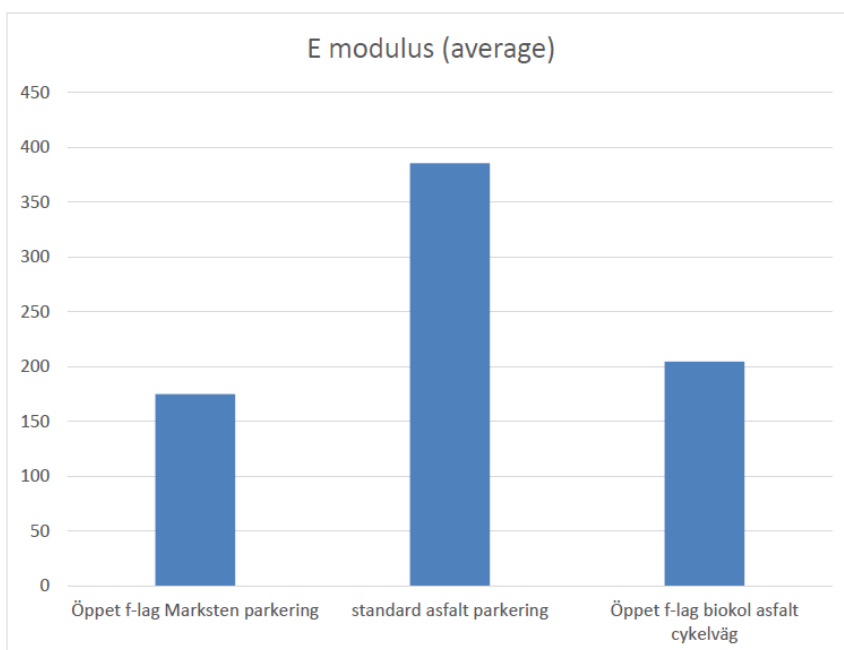
Tabell 13: Överbyggnadstabell för gång-, och cykelytan (Hellman et. al., 2022).

Material	Funktion	Tjocklek gångbana [mm]	Tjocklek cykelbana [mm]
Betongmarksten	Beläggning	100	-
Asfalt	Beläggning	-	40
Sand	Sättmaterial	30	-
Samkross 0/32	Obundet bärlager	80	170
Samkross 0/90	Förstärkningslager	190	190
Makadam 8/16	Avjämningslager	50	50
Makadam 22/90	Öppet förstärkningslager	400 - 950	400 - 950
Makadam 32/63	Öppet förstärkningslager	330 - 380	330 - 380
Kokosmatta	Avskiljande lager		
Geotextil	Avskiljande lager		

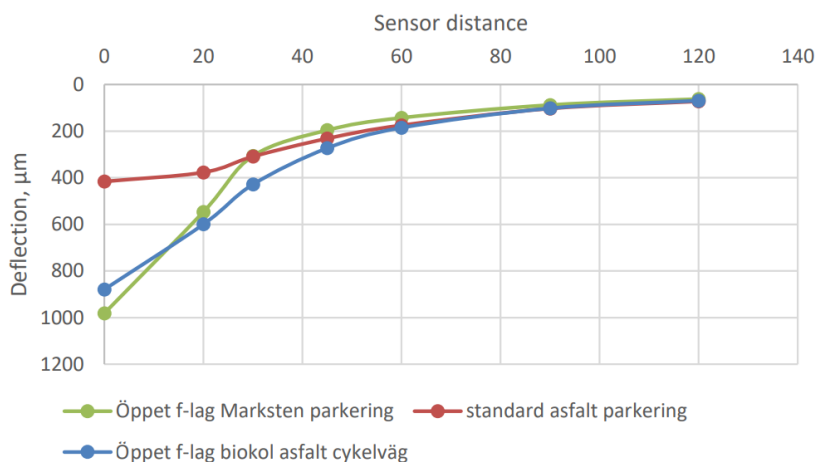
Tabell 14: Överbyggnadstabell för parkeringsyta (Hellman et. al., 2022).

Material	Funktion	Tjocklek parkeringsyta [mm]	Tjocklek referensyta [mm]
Betongmarksten 263x88	Beläggning	70	
ABT 11 70/100	Beläggning		40
AG 22 70/100	Bundet bärlager		70
Makadam 2/5	Obundet bärlager	30	
Makadam 4/32	Förstärkningslager	80	
Samkross 0/40	Obundet bärlager		80
Samkross 0/90	Förstärkningslager		420
Makadam 22/90	Öppet förstärkningslager	460	
Makadam 32/63	Öppet förstärkningslager	300-400	

Resultatet indikerar på att referensytan är styvare än de andra ytorna såsom parkeringsytan. Här nämns det att asfalt är styvare än betongmarksten och påverkar styvheten, vilket motsäger föregående resultat för Rosendal. Främsta indikationen på detta enligt Hellman et. al. (2022) kan vara att skillnaderna i deflektionsbassängen främst ligger mellan 0-, och 20-givaren jämfört med standardkonstruktionen, se Figur 22. Parkeringsytans styvhet ligger på 174 MPa, standardparkeringen och cykelvägen ligger däremot på ungefär 380 respektive 200 MPa. Enligt deflektionsbassängens sensorer mellan 20 - 30 cm fortsätter deflektionen dock med brantare lutning vilket kan indikera på påverkan från de obundna lagren.



Deflection bowl, average of different structure types



Figur 22: Illustrerar ytmodulen och deflektionsbassängen för konstruktionerna (Hellman et al., 2022).

2.7.3. Borrebackevägen

2.7.3.1. Bakgrund

Borrebackevägen är en väg belägen i den södra delen av Malmö och har agerat som en provväg för att se hur en öppen överbyggnad kan fungera gentemot en vanlig GBÖ. Vägens trafikflöde beräknades år 1991 ligga på ungefär 1200 fordon/dygn, år 2022 hade trafiken ökat till cirka 3900 fordon/dygn. Vägen har byggts som en normal väg och har exempelvis diken och andra anordningar för att kunna ta hand om dagvatten. Skillnaden är dock att överbyggnaden är öppen vilket leder ner dagvattnet och bevarar det, likt ett magasin (Wahlman & Stahle, 1991).

Hela Borrebackevägen byggdes om för att bli en öppen överbyggnad från sträcka 0/000–2/840 med total tjocklek på 800 mm. Denna väg fick då tre uppföljningssträckor på cirka 150 meter vardera vilka redovisas i Tabell 15. Sträcka 1 är referenssträckan vilken byggdes som en konventionell GBÖ, belägen mellan sektion 3/000–3/160. Provsträcka 2 konstruerades på samma vis med skillnaden i att AG-lagret ersatts med Viacobase, ett bundet bärlager av makadam vid sektion 2/840–3/000 (Wahlman & Stahle, 1991). Viacobase liknar ett AG22-lager, med skillnad i att Viacobase innehåller en högre andel stenmaterial (Hornwall, 1998).

Den sista provsträckan utfördes mellan sektion 2/680–2/840 och var en helt öppen överbyggnad. Makadamen tänktes vara av två olika lager, ett med finare kornfraktioner på 18/80 mm ovan det grövre lagret med fraktionsstorlekarna 32/120 mm för att underlätta packningen och därmed fördela lasten bättre. Däremot visade detta sig vara problematiskt för entreprenören, packningen blev undermålig och arbetet dröjde alltför länge. Slutligen valdes ett utförande där makadamen lätts ut i två lager av fraktionerna 4/120 mm.

Tabellerna nedan visar den slutliga uppbyggnaden av de tre olika provsträckorna (Wahlman & Stahle, 1991).

Tabell 15: Visar uppbyggnaden av samtliga konstruktioner (Wahlman & Stahle, 1991).

Lager	Tjocklek [mm]	Sträcka 1 (F1) GBÖ Referens	Sträcka 2 (F2) GBÖ alt, Viacobase	Sträcka 3 (F3) Öppen Överbyggnad
Slitlager	35	HAB12t	HAB12t	Viacodrän 12
Bundet bärlager	95	AG25	Viacobase	Viacobase 25
Obundet bärlager	120	Makadam 0-40	Makadam 0-40	
Obundet bärlager	270	-	-	Makadam 4/120
Förstärkningslager	550	Makadam 0-100	Makadam 0-100	
Förstärkningslager	400	-	-	Makadam 4/120
Separationslager	-	-	-	Fiberduk, kl 2

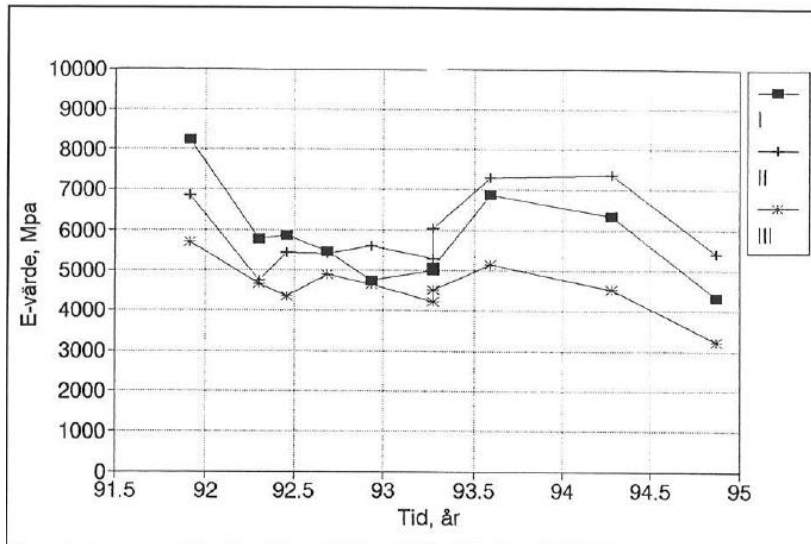
2.7.3.2. Bärighetsutredning

Bärighetsutredning har utförts genom fallviktsmätningar på de tre sträckorna med belastning på 50 kN. Vägytans nedsjunkning har använts för att räkna fram E-moduler för sträckorna genom ett femlagerssystem (Wahlman & Stahle, 1991). Se Tabell 16.

Tabell 16: Visar antagna tjocklekarna för femlagerssystemet (Wahlman & Stahle, 1991).

Lager	Sträcka 1 (F1) [mm]	Sträcka 2 (F2) [mm]	Sträcka 3 (F3) [mm]
Asfalt	135	160	190
Obundet bärlager	120	120	300
Förstärkningslager	560	540	300
Övre terrass	2500	1500	3000
Undergrund	oändligt	oändligt	oändligt

De beräknade E-modulerna för asfaltlagret varierade med temperaturskillnaderna under året, därför utfördes en temperaturkorrigering för att kunna få jämförbara resultat. Resultatet för de tre sträckorna ses i Figur 23 nedan. Det kan tydas att sträcka 2 har det högsta E-värdet på cirka 5500 MPa, medan referenssträckan och den öppna överbyggnaden understiger detta värde med cirka 4300 respektive 3200 MPa år 1995 (Wahlman & Stahle, 1991).



Figur 23: Visar E-modulen för asfaltlagren för de olika sträckorna (Wahlman & Stahle, 1991).

Slutsatser i studien påvisar att en öppen överbyggnad har en längre livslängd än motsvarande konventionell grusbitumenöverbyggnad. Detta kan tydas genom att se över de resultaten för E-modulen för överbyggnaderna. Makadambärlagret fördelar lasten på ett sätt så att terrassen får en mindre påverkan än den från en konventionell överbyggnad. Den totala tjockleken kan minska och bärigheten kommer vara tillräckligt god för att uppnå resultaten av en GBÖ (Wahlman & Stahle, 1991).

2.7.4. Sammanställning av tidigare erfarenheter

I de tidigare erfarenheterna nämns packning vara en viktig aspekt att ta hänsyn till för att lyckas i att bygga en god grund för en multifunktionell ytas bärighet. Rahman et. al. (2017), Murén & Didriksson (2017) samt Wahlman & Stahle (1991) nämner detta, varav Rahman et. al. fortsätter med att nämna att de enligt AMA rekommenderade sex överfarterna inte räcker till för att stabilisera de obundna lagren. Murén & Didriksson (2017) nämner att det finns risk för studs i samband med packning av de dränerande obundna lagren vilket kan skada materialet. Med rätt packningsförfarande och bevattning nämns dock att de obundna materialen kan få liknande packning som de konventionella (Rahman et. al., 2017).

Skelettjordar konstrueras i många fall med större makadamlager av kornstorlek 32/63, 32/90, 90/150 eller även 100/150 mm. Högre andel hålrum medför sämre bärighet och ökad spårdjupsutveckling på grund av ett minskat antal kontaktpunkter, detta resulterar även i en minskad livslängd för dessa konstruktioner. Mindre fraktioner av öppen karaktär, exempelvis 2/32 eller 2/90, har jämfört med de större fraktionerna en högre bärighet och kan därför lättare användas i samband med tung trafik. Växtligheten gynnas däremot främst av luftigare makadamlager som har större porstorlek (Svensk Markbetong, 2019; Rahman et. al., 2017).

Det är av ytterst vikt för bärigheten att säkerställa avvattningen i en konstruktion genom att inte låta den överfyllas för att motverka eventuella deformationer eller annan problematik. Tömningstiden bör vara maximalt vara mellan 24–48 timmar. Både fogen och sättlagret som används i en dränerande markstensbeläggning ska vara av fraktion 2/5 med porvolym över 35 %. Max andel fillers är 2 % för de obundna lagren då finmaterialen är vattenkänsliga (Svensk markbetong, 2019).

Ett konventionellt obundet bärlagermaterial har kornstorlek på 0/32 och en porvolym på 22 %, jämförelsevis nämns att ett bärlagermaterial på 2/32 har en fördubblad deformationsbenägenhet men med 28 % porvolym (Murén & Didriksson, 2017). Ett material med kornstorlek 2/32 eller 4/32 rekommenderas att användas främst i samband med dränerande beläggningar, där det senare materialet har en porvolym på cirka 25 % (Edge, 2019).

För ett konventionellt förstärkningslager gäller rekommendationen på ett material med kornstorlek 0/90 mm, enligt Rahman et. al. (2017) har ett obundet förstärkningslagermaterial med kornstorlek 2/90 liknande egenskaper med hänsyn till bärighet och packning (Murén & Didriksson, 2017). Ett förstärkningslagermaterial med kornstorlek mellan 4/90 eller 16/90 nämns vara avsevärt svårare att packa än de förutnämnda materialen, därmed ökar sättningsbenägenheten för sådana material (Rahman et. al., 2017).

Ett förstärkningslagermaterial med kornstorlek på 16/90 beräknas ungefärligen ge en fördubblad deformationsbenägenheten i jämförelse med ett 4/90 material (Rahman et. al., 2017). Ett 16/90-material rekommenderas att användas i samband med växtlighet för att rotsystemet ska kunna växa ut. Förstärkningslagermaterial på kornstorlek 32/90 anses däremot bäst för växtlighet, men rekommenderas inte för ytor som trafikeras (Edge, 2019).

3. Utförda undersökningar

Metoden som användes för att besvara frågeställningen var fallvikt på grund av ett mer objektivt utfall i jämförelse med andra icke-objektiva metoder såsom okulärbesiktning. Indatan från fallvikten behandlades och analyserades med hjälp av regressionsanalys och determinationskoefficienten för att undersöka huruvida de olika parametrarna verkligen har ett kausalt samband. Dessutom användes passningsräkning för att se hur styvheten förändrats i de olika överbyggnadslagren.

3.1. Fallvikt

Områden som beskrevs nedan utvärderades i denna studie. Dessa inkluderade gator i områdena eller kvarteren Gjuteriet, Möllevångstorget, Cementen. Borrebackevägen och cykelvägen utmed Nobelvägen var ytterligare delar som behandlades i denna studie. Se Tabell 17 nedan för att få en inblick i de valda ytorna.

Tabell 17: Anger typ och placering av de multifunktionella ytorna.

Projekt	Avsedda gata/väg	Typ av yta	Utsträckning
Gjuteriet	Linoljegatan	Öppet förstärkningslager	Körbana
	Fernissagatan	Öppet förstärkningslager	Körbana
	Kolsyregatan	Öppet förstärkningslager	Körbana
Cementen	Strandgatan	Skelettjord	Parkeringsyta
	Limhamnsvägen	Skelettjord	Cykelbana
Grönare Möllan	Simrishammsgatan	Skelettjord	Parkeringsfickor
Nobelvägen	Nobelvägen	Skelettjord	Cykelyta
Borrebackevägen	Borrebackevägen	Dränerande överbyggnad	Hela vägen exkl. referensyta

3.1.1. Gjuteriet

3.1.1.1. Bakgrund

I Malmö stad arbetar man för att klimatanpassa den byggda miljön, särskilt efter skyfallen som drabbade Malmö år 2014. Den byggda miljön har i en del områden anpassats för att kunna föra ner och ta hand om dagvatten för att motverka översvämningsrisken, dock kan tillvägagångssättet skilja sig (Malmö stad, 2023a). En del av dessa gator ligger i kvarteret Gjuteriet. Vägarna i fråga är Linoljegatan, Fernissagatan och Kolsyregatan.

3.1.1.2. Konstruktion och fallviktsyta

Referensytorna består för detta område av grusbeläggning medan de dränerande ytorna består av asfaltbeläggning. Asfalten är permeabel men för att lättare kunna låta vattnet rinna ner är vägarna upprustade med perkolationsbrunnar som för ner vattnet. Längst ner i konstruktionen finns ett förstärkningslager utan nollfraktioner vilket ger en hög hålrums halt och kan magasinera vatten. Överbyggnaderna presenteras i Tabell 18. Perkolationsbrunnen har utrustats med sandfång för att motverka att finare material följer med ner till materialen med hög hålrums halt. Ett tätt material kan motverka att vattnet förs ner, och därmed motverkas hela syftet med konstruktionen.

Dessa vägars körbanor och grusgångytor var tänkta att bestå av luftiga bär-, och förstärkningslager undertill vilket leder till ökad mängd dagvatten som kan magasineras. Se Figur 24, lila färg indikerar var de luftiga lagren finns. Svårigheter med packningen har krävt justeringar på bärlaget, dvs. att bärlaget utförts med fraktion 0/40 mm i stället för den tänkta fraktionen 2/40 mm.

Gatorna har konstruerats med kontinuerliga öppna förstärkningslager längs hela området. Grusgångytorna är uppbyggda för att vara impermeabla med nollfraktioner som inte tillåter att vatten transporteras igenom lagret, främst gäller detta i närheten av fastighetsgränser där fukten kan påverka byggnaderna och därmed leda till fuktskador.

Lägst i konstruktionen, längs hela området i fråga, finns en tät geotextil för att hålla inne vattnet i konstruktionen. Denna geotextil är möjligtvis placerad här på grund av terrassens begränsade infiltrationskapacitet. Dock kan det även vara i förebyggande syfte, dvs. exempelvis för att motverka att föroreningar som följer med vattnet sprids till omgivande vattentäkter. Figur 25 visar var fallviktsmätningarna utförts i området.

Tabell 18: Överbyggnadstabellområde Gjuteriet.

Material	Asfalt Linolje-, & Kolsyregatan [mm]	Asfalt Fernissa-gatan [mm]	Grusgångyta Linolje- & Kolsyregatan [mm]
Bundet bärlager, AG	40	40	-
Obundet bärlager 0/40	80	150	80
Luftigt förstärkningslager, makadam 16/90	420	420	min. 300
Geotextil kapacitetsklass N4			



Figur 24: Karta över Gjuteriet med öppna underliggande lager i lila färg.



Figur 25: Fallviktsmätningarnas positionering på område Gjuteriet, gröna boxar.

3.1.2. Cementen

3.1.2.1. Bakgrund

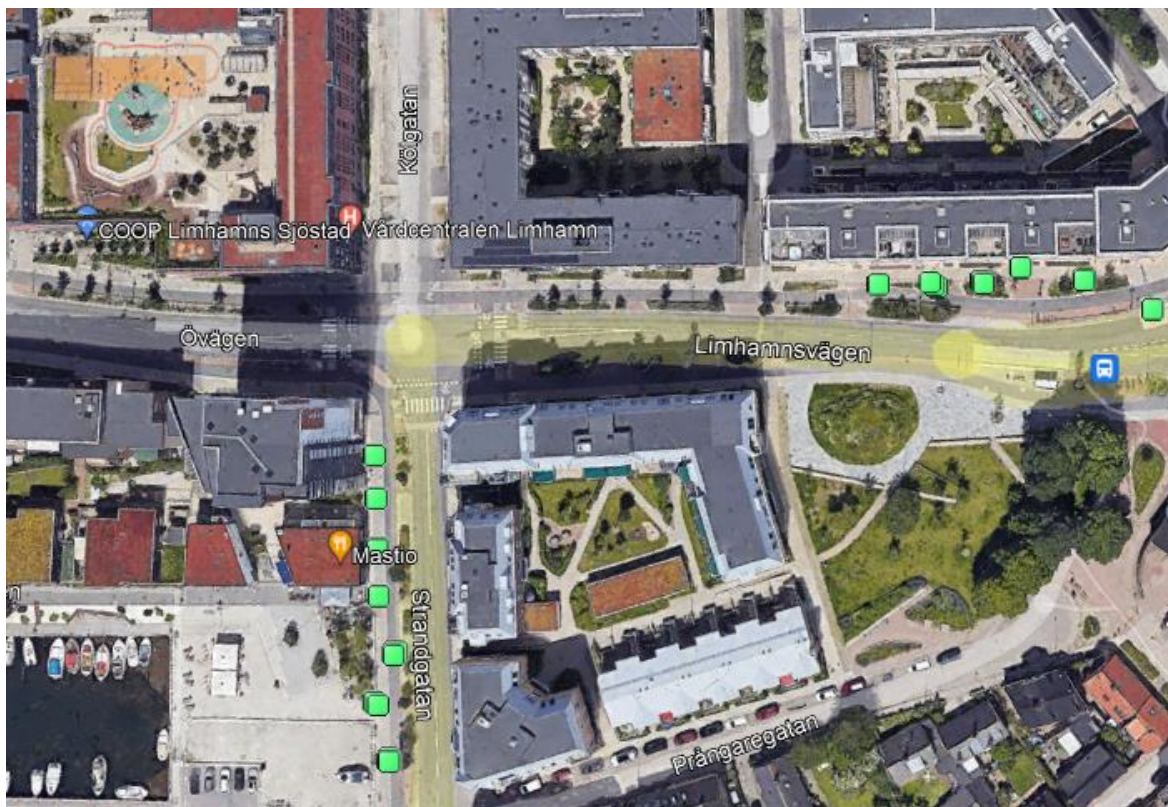
Fastigheterna Cementen har historiskt sett varit ett utrymme för fiskeverksamhet på grund av sin geografiska plats, men industrialiseringen ledde till att cementtillverkning i Malmö tog över här. Området har därför använts som ett industriområde utan större ytor för bebyggelse. Malmö stad har numera arbetat för att förändra området genom att exempelvis införa bostäder, och i samband med detta lyckats veva in arbetet kring att klimatsäkra staden genom diverse utformningsstrategier, exempelvis genom växtbäddar. Utöver detta försöker Malmö stad bevara den industrihistoria som en gång präglat området genom att bevara de silon som använts under denna period (Malmö stad, 2023b). Övägens ÅDT ligger omkring 4400 fordon/dygn.

3.1.2.2. Konstruktion och fallviktsyta

Området har utvecklats för att integrera och behandla en större mängd cykeltrafik i området genom utbyggnaden av bland annat Övägen. I samband med utvecklingen av området har staden infört skelettjord under cykelvägar och flexzoner för att kunna både gynna träden i en växtbädd och även öka mängden behandlat dagvatten i ett lokalt perspektiv. Se Tabell 19. Cykelvägarna och flexzonerna i detta område som har testats med fallviktsmätningar är Limhamnsvägen och Strandgatan, se Figur 26 nedan.

Tabell 19: Överbyggnadstabell över området Cementen.

Material	Skelettjord cykelbana Limhamn, tjocklek [mm]	Parkeringsyta Strandgatan, tjocklek [mm]	Referens- cykelbana tjocklek [mm]
Beläggning, ABT8 100/150	25	-	25
Bundet bärlager, AG16 100/150	35	-	35
Storgatsten	-	150	-
Sättningslager	-	50	-
Obundet bärlager 0/40	80	80	80
Luftigt bärlager, makadam 32/63	200	200	-
Skelettjord 100/120	720	720	-



Figur 26: Fallviktsmätningarnas positionering på Limhamns-, respektive Strandgatan, gröna boxar.

3.1.3. Grönare Möllan

3.1.3.1. Bakgrund

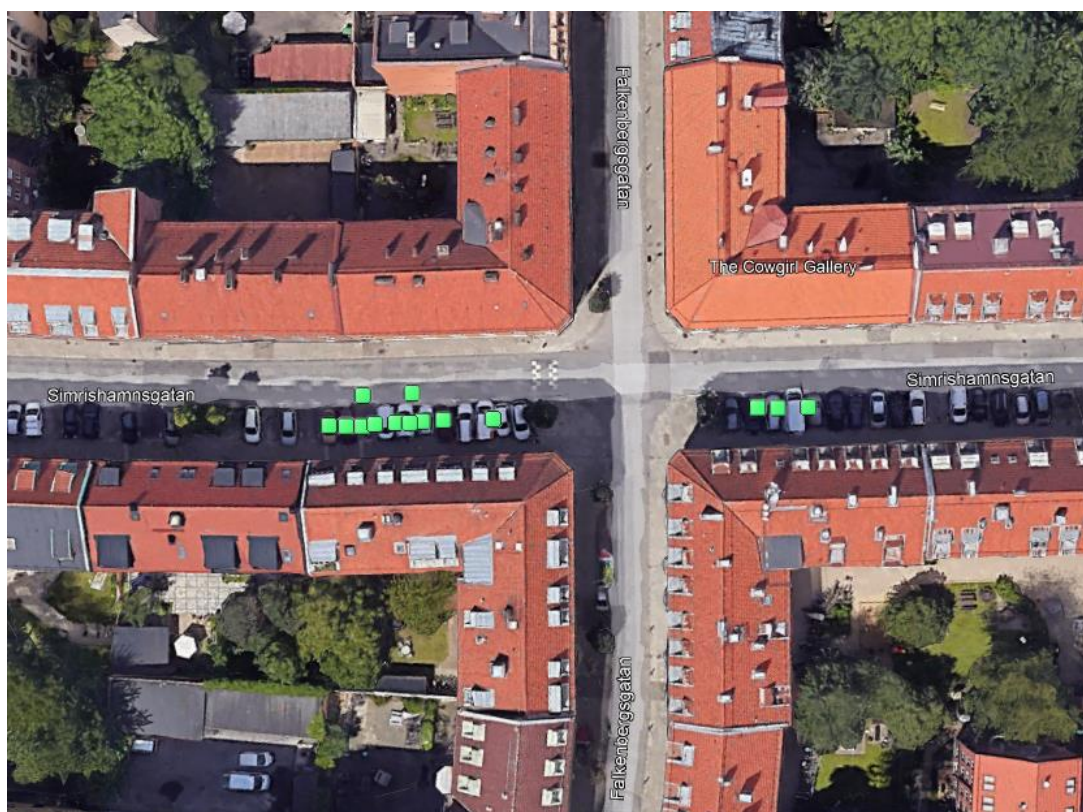
Möllevång var den stadsdel i Malmö stad som hade minst andel grönska i staden, därför bedrevs ett samarbete mellan Boverket och Malmö stad i syfte att öka stadsgrönskan för denna stadsdel och öka medborgarnas välbefinnande. I samband med denna satsning infördes växtbäddar för att öka vegetationen i området, men även se till att dagvattnet bättre tas hand om lokalt. Det större syftet i projektet var att se till att miljömålet God bebyggd miljö uppnås (Zetterlund, 2019).

3.1.3.2. Konstruktion och fallviktsyta

Träden infördes i den bebyggda miljön genom att använda sig av Malmömodellens växtbäddar. Växtbäddarnas skelettjordar varierar i uppbyggnad, se Tabell 20. Bland annat kan andelen pimpsten, grönkompost och biokol variera. Trädets rötter söker sig till näring och behöver utrymme för att rötterna ska kunna sträcka ut för optimal tillväxt. Biokolen kan hålla i näringen och långsamt släppa ut den, och trädet kan därför få en god levnadsstandard. Dessutom medför de större fraktionerna utrymme för trädets rötter att sträcka ut sig. Detta eftersträvas för stadsträdens välmående. Fallviktsmätningarna har utförts i området enligt Figur 27 nedan, vid korsningen mellan Simrishamnsgatan och Falkenbergsgatan för både parkeringsytorna och körbanan. Parkeringen väster om Falkenbergsgatan kallas för P-yta 1 medan parkeringen österut kallas för P-yta 2.

Tabell 20: Överbyggnadstabell över området Möllan.

Material	Skelettjord parkeringsyta 1 [mm]	Skelettjord parkeringsyta 2 [mm]	Referenskonstruktion körbana [mm]
Beläggning, ABTF 16 100/150	110	110	110
Obundet bärlager 0/40	80	80	80
Luftigt bärlager, makadam 32/63	200	200	-
Skelettjord 100/120 + pimpsten 2/8	600		-
Skelettjord 100/120 + 40 % pimpsten 2/8, 20 % grönkompost 0/20 samt 40 % näringsberikad biokol		600	-
Ogödslad biokol	50	50	-



Figur 27: Fallviktsmätningarnas positionering på Simrishamnsgatan, gröna boxar.

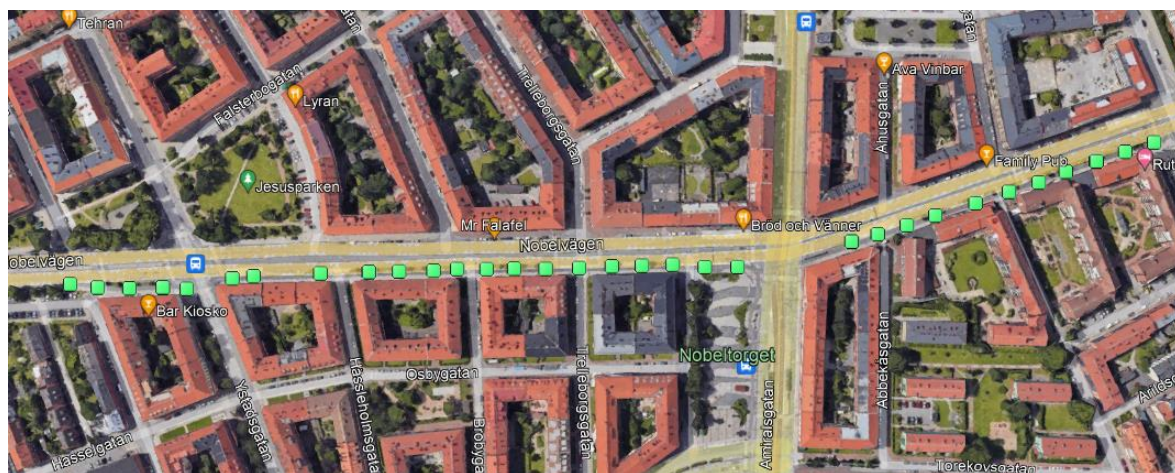
3.1.4. Nobelvägen

3.1.4.1. Bakgrund

Nobelvägen är en av de viktigare huvudvägarna i Malmö som förbinder motorvägen till de centrala delarna av staden. En stor mängd av pendlartrafik väljer att åka in till staden med denna väg om man kör in till Malmö via E6:an. Ursprungligen hade Nobelvägen en cykelbana i mitten, omringad av träd om båda hållen. År 1950 revs däremot denna cykelbana till fördel för bilens framkomst. År 2009 valdes det att återigen införa en cykelbana längs vägen för att motverka bilen (Malmö stad, 2023c). Nobelvägens hade år 2022 en trafikvolym på cirka 14 000 fordon/dygn, därför är denna väg en av de mer trafikerade vägarna i staden.

3.1.4.2. Konstruktion och fallviktsyta

Nobelvägens cykelbana har byggts för att innehålla skelettjord i underliggande lager bitvis i samband med växtbäddar längs cykelbanan. Överbyggnaderna ser därför olika ut, se Tabell 21. I Figur 28 nedan visas var fallviktsmätningarna utförs, både för referenscykelbanan och skelettjordscykelbanan längs Nobelvägen. Nobelvägens cykelbana har konstruerats både med en konventionell överbyggnad och med ett tillägg av skelettjord undertill, se överbyggnadstabell 21 nedan. Skelettjorden består av två separata lager, det första lagret på 420 mm makadam av fraktionen 100/120 mm läggs ut, därefter sopas pimpsten ner i skelettjorden och kompakteras. Efter färdigställandet av den första skelettjorden läggs ytterligare 300 mm tjockt makadamlager av fraktion 100/120 mm ovanför.



Figur 28: Fallviktsmätningarnas positionering på Nobelvägen, gröna boxar.

Tabell 21: Överbyggnadstabell för konventionell cykelbana och skelettjords-cykelbana.

Lager	Referens cb. [mm]	Skelett cb. [mm]
Slitlager, ABT 8 100/150	25	25
Bundet bärlager AG16 100/150	35	35
Obundet bärlager 0/40	240	Var.
Luftigt bärlager 32/64	-	200
Tvättad makadam	-	Var.
Skelettjord 100/120	-	720

3.1.5. Borrebackevägen

3.1.5.1. Karta på fallviktsytan

Fallviktsmätningar har utförts på Borrebackevägen på nytt för att kunna utvärdera nyttan av en öppen dränerande överbyggnad efter cirka 31 år. På så sätt dras lärdomar av arbetet med hänsyn till bärigheten. Fallviktsmätningarna har utförts enligt Figur 29 nedan.



Figur 29: Fallviktsmätningarnas positionering på Borrebackevägen, gröna boxar.

3.1.5.2. Passningsräkning

För denna sträcka utfördes en passningsräkning med hjälp av ett linjärelastiskt beräkningsprogram. De antagna lagertjocklekarna följde de lagertjocklekar som antogs år 1991 i studien för Borrebackevägen, se tabell 14. Efter att passningsräkningen utförts kompletterades indatan med en temperaturkorrigering för beläggningen och jämfördes därefter med äldre mätningar från Borrebackevägen.

3.1.6. Utförande av fallviktsmätning

Fallviktsmätningen var ett uppdrag på begäran av Malmö stad, ovanstående områden och gator är några av de testade ytorna i fråga. Uppdraget utfördes av Ramboll under november, år 2022. Fallviktsmätningen utfördes enligt Trafikverkets krav för utförande av fallviktsmätning, TDOK 2019:0463. GC-vägarna utsattes för fallviktsmätningar var 10:e meter medan resterande mätningarna testades med 25 meters mellanrum. Dessutom utfördes en successiv lastökning i en punkt med lasterna 10 kN, 25 kN, 40kN och 50 kN för att utreda linjäritetssamband för fallviktsmätningen.

3.1.7. Kontroll av mätdata

Översyn och normering av fallviktsdatan behöver utföras för varje mätpunkt enligt kapitel "2.6.1. Fallvikt". Avvikande resultat och extremvärden kan analyseras och eventuellt uteslutas i tidigt skede för att motverka vilseledande resultat (Ramboll, 2022). I samband med normering förekom resultat överstigandes 5% i avvikelse mellan den nominella och verkliga belastningen. Fallviktskapitlet nämner att en sådan överträdelse i indatan bör leda till att denna indata exkluderas, däremot kan det innebära att en stor del av indatan som samlats in inte gäller.

Fallviktsarbetet i projektet mynnade slutligen ut i en dataleverans vilken innehöll enklare bärighetsmått för varje mätpunkt, exempelvis ytmodul, SCI, BCI med flera. Fallviktsdatan för varje enskild mätpunkt kan identifieras genom att se över punktens referensnummer och hitta den i Excel (Ramboll, 2022).

3.2. Regressionsanalys

Regressionsanalys är en statistisk analysmetod som bygger på att undersöka om indata kan ha en relation genom att anpassas till en viss funktion. Dessutom kan styrkan av sambandets faktorer förklaras med den så kallade determinationskoefficienten, R^2 . Determinationskoefficienten påvisar hur starkt av ett samband som råder mellan inparametrarna, främst påvisas detta på en skala mellan 0 – 1 där 1 innebär att de är fullständigt beroende av varandra och 0 innebär att de är fullständigt oberoende av varandra (Vännman & Jonasson, 2020; Sil et. al., 2019).

Det kan undersökas om fallviktsmätningarna följer ett samband mellan belastningsnivån och deflektionen. Belastning på 10, 25, 40 och 50 kN kan hjälpa till att utreda om det råder ett linjärt samband, och styrkan mellan sambandets parametrar uppskattas genom determinationskoefficienten. Främst är detta en viktig aspekt då resultaten i denna studie kan avvika mer än 5 %, men en linjaritetskontroll kan då påvisa att resultaten ändå kan utnyttjas.

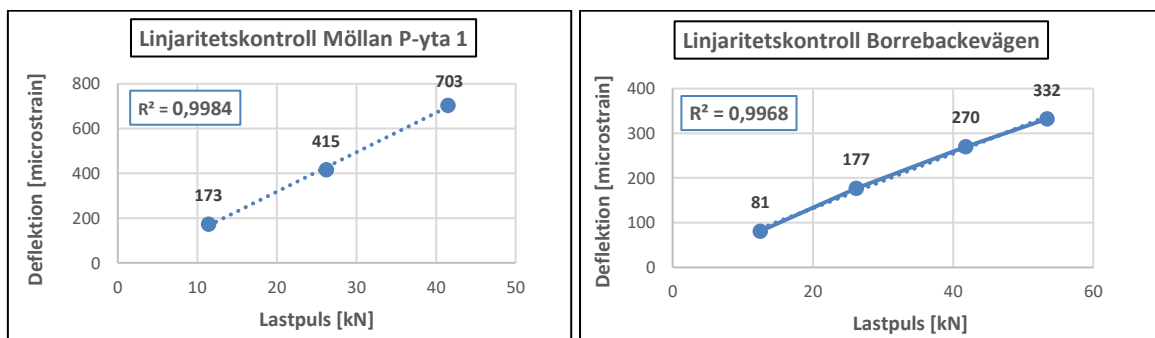
Medelvärde är det vanligtvis antagna verktyget för att få ett samlat resultat för en vägbeläggningens bärighet. På grund av de varierade resultaten från fallviktsmätningarna kommer en standardavvikelse att beräknas för att ge en indikation på hur mycket mätvärdena varierar mellan de olika mätpunkterna.

4. Resultat

Bärigheten utvärderades för de olika sträckorna med hjälp av de standardiserade bärighetsmåten E_0 , BCI , $\epsilon_{a,10}$ varav passningsräkning utfördes för objekt Borrebackevägen för att kunna jämföra E-modulerna från tidigare mätningar utförda på 90-talet. I samband med analys av resultaten kommer skelettjordskonstruktioner att betecknas med bokstäverna Sk och cykelbana betecknas CB. I samband med att resultatet presenteras kommer Tabell 4, 5 och 6 (se kapitel 2.6.1. fallvikt) att användas som vägledning för att bedöma vägens tillstånd i förhållande till trafikmängd och trafikklass.

4.1. Linjaritetskontroll

I detta avsnitt kommer en del av resultaten för linjaritetskontrollerna att visas. Linjaritetskontrollen utförs för en och samma punkt med olika laster för att undersöka så att lasten är inom en vägs linjärelastiska område. Mätningar behöver utföras inom det linjärelastiska för att superpositionering ska göra sig gällande. Att mätningar är inom det linjärelastiska området bekräftas genom att deflektionen ökar linjärt med lastpulsen, vilket kan ses i Figur 30.



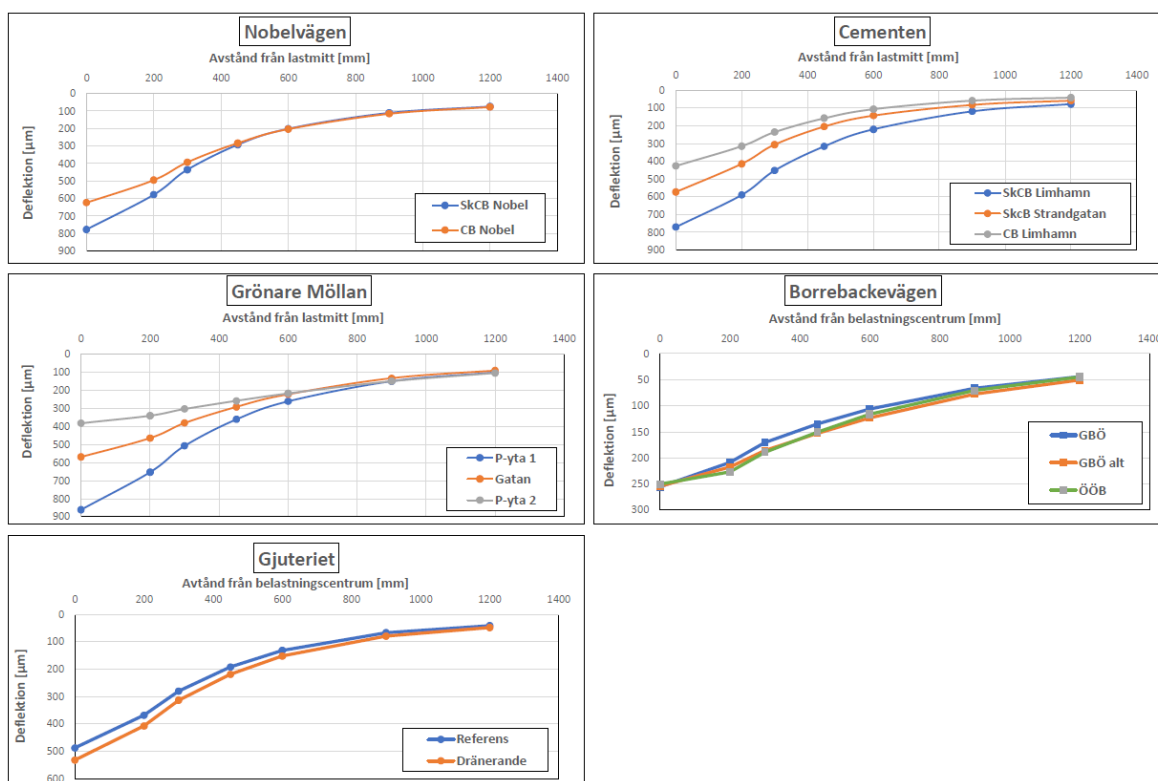
Figur 30: Visualiserar linjaritetskontroller för Möllans P-yta 1 respektive Borrebackevägen.

Figur 30 ovan illustrerar hur en linjaritetskontroll kan se ut. Linjaritetskontroller har utförts för samtliga ytor och påvisar goda resultat med ett R^2 - värde (determinationskoefficienten) som i samtliga resultat var väldigt nära 1, vilket indikerar på att mätningarna utförs inom det linjärelastiska området.

4.2. Deflektionsbassänger

Deflektionsbassängerna är ett hjälpmedel för att snabbt identifiera om en deflektionsmätning följer ett naturligt mönster, där deflektionen är högst under belastningscentrum och avtar med ökat avstånd från lasten. Indikatorn på felaktigheter visualiseras här då ett deflektionsvärde avviker från det typiska utseendet och som därmed kan synliggöras vid en första anblick. Samtliga ytor i denna studie följer ett normalt utseende för en

deflektionsbassäng. Dessutom konvergerar de yttre deflektionsvärdena vilket kan indikera på liknande jordartsförhållanden för områdets referensytor och testytor.



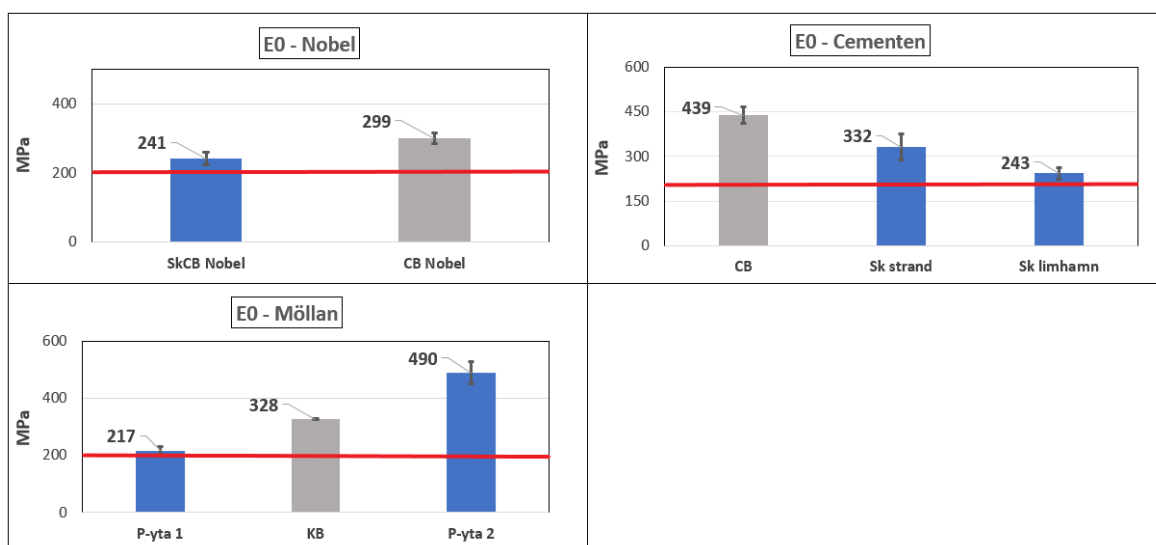
Figur 31: Visualiserar samtliga deflektionsbassänger.

Skelettjordskonstruktionerna kan ses få högre deflektionsvärden jämfört med referenskonstruktionerna genom att analysera Figur 31 ovan. Vid analys av geofonerna mellan avståndet 200 – 300 mm kan en brantare lutning identifieras för skelettjordsbassängerna, vilket tyder på en ökad deflektion för de obundna lagren. De tre olika överbyggnaderna för Borrebackevägen är väldigt flacka vilket indikerar på en god bärighet för samtliga tre överbyggnader. För objekt Gjuteriet är skillnaden inte så stor mellan de olika ytorna.

4.3. Ytmoduler

Ytmodulen är mått på hela överbyggnadens styvhet. Högre styvhet tyder på en högre bärighet. För skelettjordskonstruktionerna och för de täta ytorna med dränerande funktion ritas kraven för lågtrafikerade vägar som ligger på 200 MPa (med röd linje). Detta görs på grund av att dessa ytor har en lägre trafiknivå. Borrebackevägen har i stället kraven för en högtrafikerade väg som är på 500 MPa. Se Tabellerna 5 och 6 för riktlinjerna gällande hög- respektive lågtrafikerade ytor.

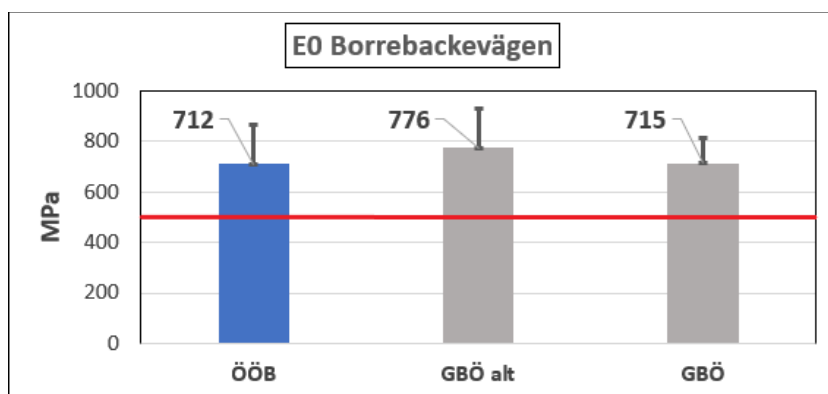
4.3.1. Skelettjordskonstruktioner



Figur 32: Ytmoduler för skelettjordskonstruktioner.

För samtliga skelettjordskonstruktioner överskrider styvhetsmodulerna riktlinjerna från Tabell 6, se Figur 32. Styvheten varierar stort mellan skelettjordskonstruktionerna för Parkeringsyta 1 och 2 på Möllan, styvheten är mer än dubbel för parkeringsyta 2 med 490 MPa, trots det faktum att de enligt ritning ska ha liknande uppbyggnad. Referensytorna för områdena Cementen och Nobelvägen har en högre styvhet än skelettjordskonstruktionerna.

4.3.2. Öppen överbyggnad

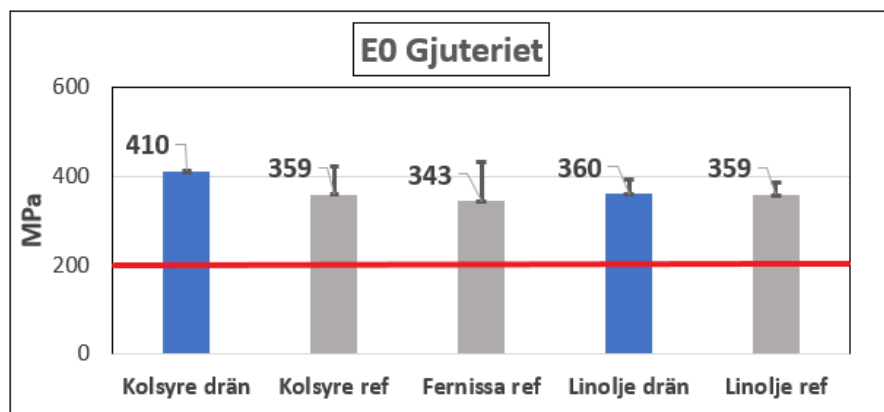


Figur 33: Ytmoduler för Borrebackevägen.

På objekt Borrebackevägen har ytan med luftiga bärlager tjockare asfaltslager i jämförelse med referensytan. Den dränerande ytans stapel är fylld i blå färg, se Figur 33 för samtliga styvhetsresultat. Testytan som hade luftiga material genom hela överbyggnaden när den byggdes och har namngetts som ÖÖB. På objektet finns två referensytor, dessa namnges som Grusbitumenöverbyggnaden (GBÖ) och GBÖ alt, där AG-lagret för GBÖ alt har ersatts med Viacobase som är en företagsspecifik asfaltsprodukt. Samtliga tre ytor har asfalterats om år 2008. Styvhetsmodulerna för samtliga överbyggnadstyper uppvisar högre bärlighet än

riktvärdena för högtrafikerade vägar, men resultaten är liknande. Tidigare i rapporten lyftes att den öppna överbyggnaden (blå stapel) konstruerades med cirka 55 mm mer asfalt medan GBÖ alt konstruerades med 25 mm högre asfalt i jämförelse med referensytan GBÖ. Högst styvhet har GBÖ alt med 776 MPa.

4.3.3. Täta ytor med dränerande funktion



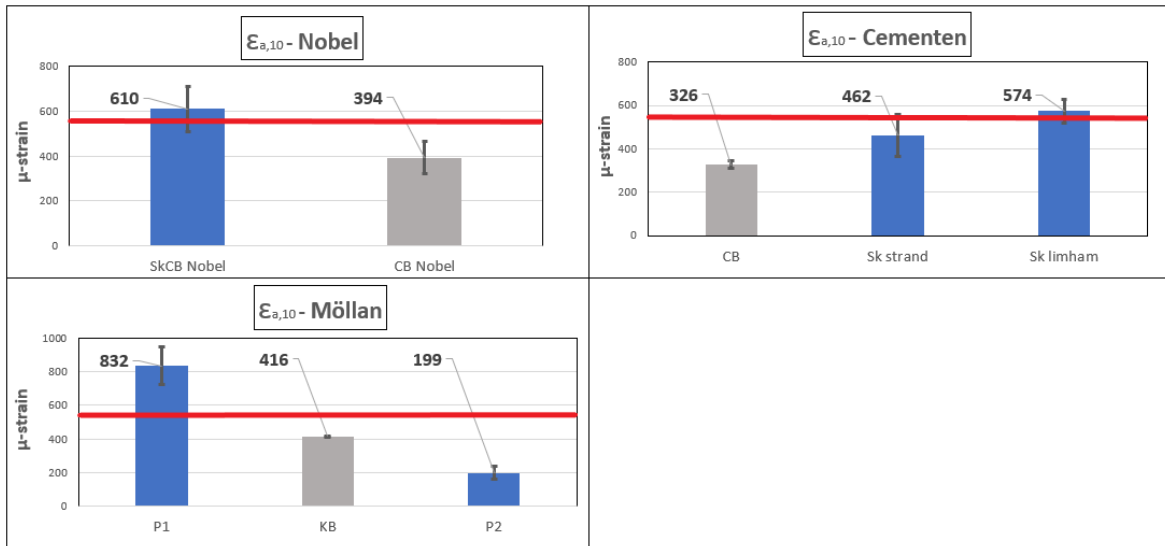
Figur 34: Ytmoduler för skelettjordskonstruktioner.

Ovan i Figur 34 redovisas styvhetsresultaten för område Gjuteriet. De dränerande ytorna består av öppna material med asfaltbeläggning och kallas drän, medan de konventionella ytorna av grusbeläggning kallas ref i Figur 34 ovan. Samtliga ytor klarar av riktvärdena som gäller för lågtrafikerade ytor. Här har Kolsyregatans dränerande yta högst ytmodul med styvheten 410 MPa, medan det lägsta värdet landade på 343 MPa för Fernissagatans referensyta. De dränerande ytornas bärighet ökar möjligtvis på grund av att det finns ett 40 mm tjockt asfaltlager.

4.4. Töjning för asfaltunderkant

Ett annat mått för analys av en överbyggnads förmåga att motstå trafikens påfrestning är uppskattad töjning i asfaltslagrets underkant, som också används i dimensioneringsprogram som utmattningskriterium. Lägre töjningsvärden indikerar på att en konstruktion har bättre förmåga att motstå utmattningssprickor som börjar i underkant asfalt. I dimensioneringsprogram råder en fjärdepotens mellan ökad töjning och risken för att sprickor uppstår. Enligt Tabell 6 är riktlinjen att gator med mindre trafik ska ha ett töjningsvärde som är lägre än $500 \mu - strain$. Och för högtrafikerade vägar, läs Borrebackevägen, påtalar riktlinjerna att töjningsvärdet bör vara lägre än $200 \mu - strain$ för att undvika att sprickor uppstår i beläggningen under dimensioneringsperioden.

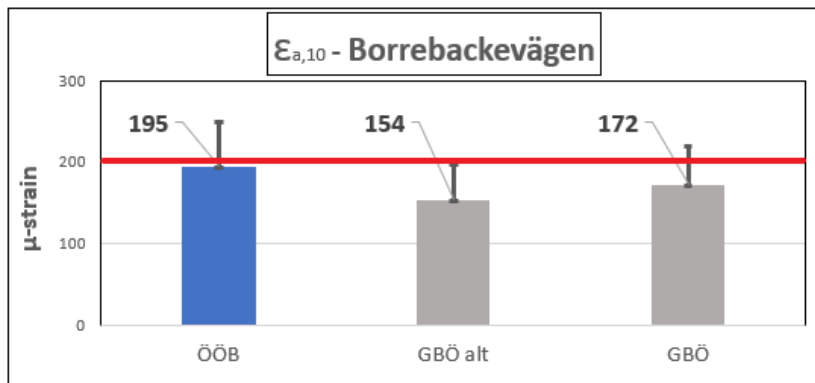
4.4.1. Skelettjordskonstruktioner



Figur 35: Asfalttjning för skelettjordskonstruktioner.

Resultaten för tjning i asfaltunderkant för skelettjordskonstruktioner redovisas i Figur 35. Den uppskattade tjning i underkant asfalt för Parkeringsyta 1 är fyra gånger större än för Parkeringsyta 2, där Parkeringsyta 2 är den enda ytan på Möllan som uppvisar en så pass låg tjning att den lämpar sig för högtrafikerade vägar. Referensytorna för både Nobelvägen och området Cementen har mycket lägre asfalttjning än skelettjordskonstruktionerna, mellan 40 - 75 % lägre. Varken skelettjorden på Nobelvägen, Limhamn eller Möllans parkeringsyta 1 klarade riktlinjerna för asfalttjningen som gäller för lågtrafikerade vägar.

4.4.2. Öppen överbyggnad



Figur 36: Asfalttjning för öppna överbyggnader.

I Figur 36 har riktlinjerna tjning i asfaltunderkant som gäller för huvudgator på högst 200 $\mu - strain$ ritats in. Borrebackevägens ytor klarar riktvärdena för detta mått, den högsta tjningen ligger på den öppna överbyggnaden med 195 $\mu - strain$, se Figur 36 ovan. I en beräkning med hjälp av fjärdepotensregeln visas det att GBÖ har dubbelt så stor motståndskraft mot utmattningsprickor jämfört med ÖÖB, se ekvation (16) nedan.

$$\frac{1}{\left(\frac{172}{195}\right)^4} \approx 2 \quad (16)$$

Ett räkneexempel mellan den öppna överbyggnaden ÖÖB och referensöverbyggnaden GBÖ i beräkningsverktyget PMS-Objekt visar att det kan skilja sig närmare 30 år i livslängd för beläggningen mellan de olika konstruktionerna på grund av ett 55 mm tjockare asfaltlager till fördel för den öppna överbyggnaden. Tabell 16 har använts för att inhämta lagertjocklekarna för de olika överbyggnaderna.

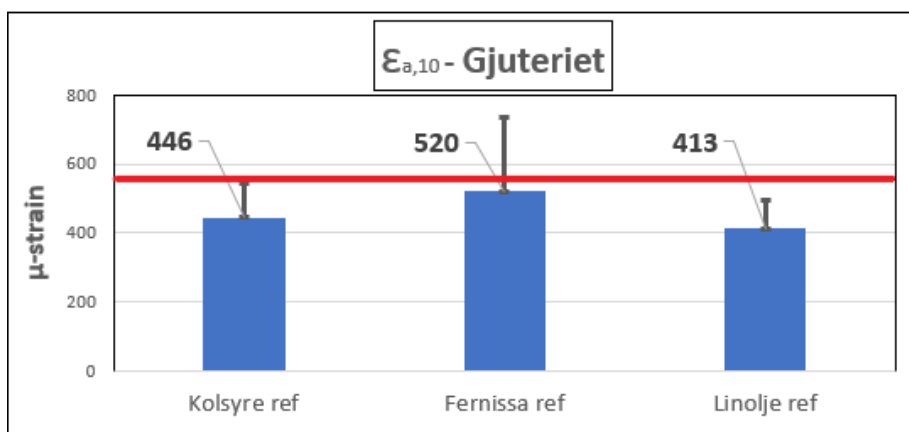
Beräknad livslängd			
Beräknad livslängd [år]:	Beläggning	Terrass	Passerade stdaxlar (Np)
	84	49	2 862 858
Antal axellaster, ackumulerat avseende			
Töjning i underkant bitumenlager	Ntill,bb 13 830 234	Nekv 2 597 538	
Töjning i terrassytan	Ntill,te 15 466 668	Nekv * 2 5 195 076	
Vertikala trycktöjningar, enstaka last			
Töjning i terrassytan [strain]	Största tillåtna 0,002500	Beräknad 0,000722	

Figur 37: Beräkning av återstående livslängd för ÖÖB med PMS-Objekt.

Beräknad livslängd			
Beräknad livslängd [år]:	Beläggning	Terrass	Passerade stdaxlar (Np)
	52	149	2 862 858
Antal axellaster, ackumulerat avseende			
Töjning i underkant bitumenlager	Ntill,bb 9 622 327	Nekv 2 597 538	
Töjning i terrassytan	Ntill,te 41 611 131	Nekv * 2 5 195 076	
Vertikala trycktöjningar, enstaka last			
Töjning i terrassytan [strain]	Största tillåtna 0,002500	Beräknad 0,000553	

Figur 38: Beräkning av återstående livslängd för GBÖ med PMS-Objekt.

4.4.3. Täta ytor med dränerande funktion

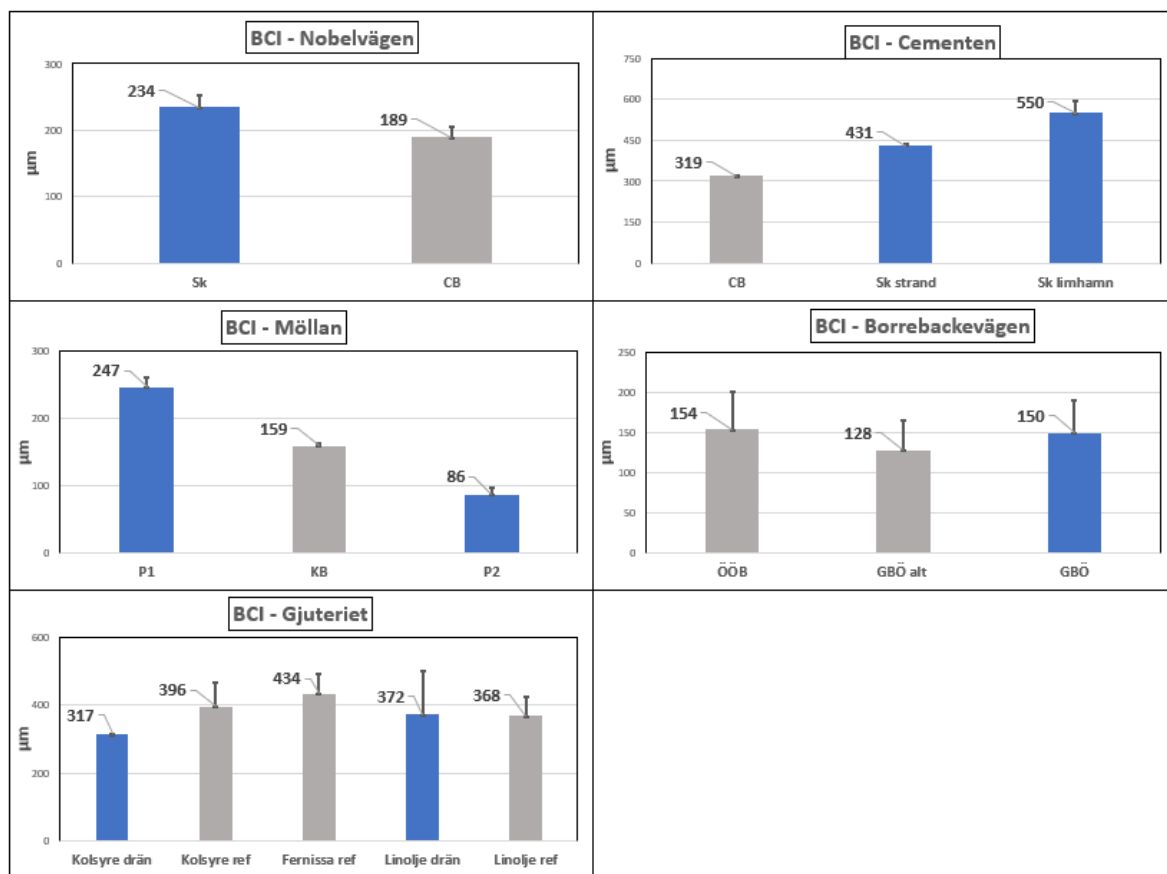


Figur 39: Asfalttöjning för täta överbyggnader med dränerande funktion.

Resultaten för asfalttöjning underkant redovisas i Figur 39. De permeabla ytornas överbyggnader klarade kraven för asfalttöjning som gäller för lågtrafikerade vägar enligt tabell 6 på 550 μ – strain.

4.5. BCI

För bärighetsmättet BCI finns inga riktlinjer, däremot är detta ett verktyg för att se hur de mellersta obundna lagren beter sig i jämförelse med varandra för de olika överbyggnaderna. Ju lägre BCI-värden, desto högre styvhet uppvisar de obundna lagren i konstruktionen.

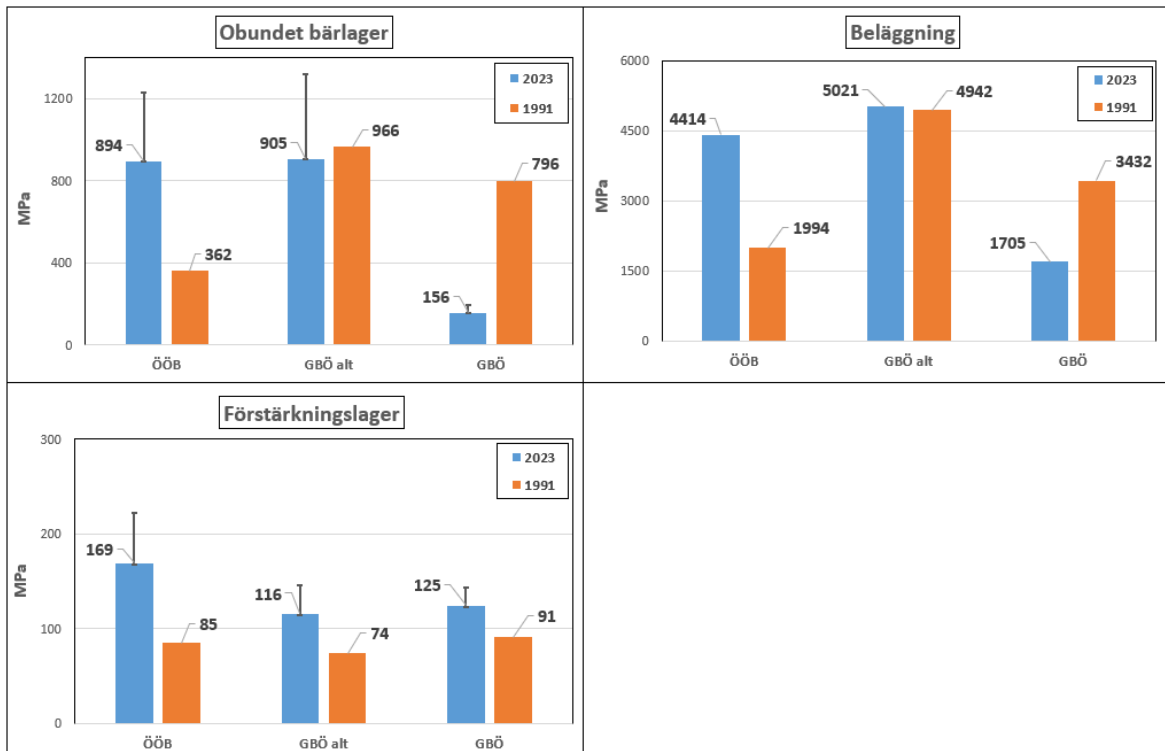


Figur 38: *Samtliga BCI-resultat.*

Nobelvägen, Cementen och Möllan innehåller skelettjordskonstruktioner. Enligt Figur 38 ses det att samtliga skelettjordskonstruktioner påvisar högre BCI-värden jämfört med referenskonstruktionerna exklusive parkeringsyta 2, se Figur 38. En höjning mellan 20 - 70 % kan tydas för skelettjordarna i jämförelse med referenskonstruktionerna.

Borrebackevägen och kvarter Gjuteriet är dränerande överbyggnader. För Borrebackevägen har referensytan GBÖ ett lägre BCI-värde än den öppna överbyggnaden ÖÖB. Lägst BCI-värde hade den alternativa överbyggnaden GBÖ alt. Vad gäller kvarter Gjuteriet kan det ses att de dränerande ytorna har låga BCI-värden i jämförelse med referensytorna. Högst BCI-värde hade Fernissagatans referensyta, det lägsta värdet fanns hos Kolsyregatans dränerande yta.

4.6. Tidens inverkan på öppna överbyggnader



Figur 39: Visualiserar itererade *E*-moduler för Borrebackevägens tre övre lager, 1991 och 2023.

Passningsräkning har utförts för Borrebackevägen utifrån fallviktsmätningar som utförts 1991 och 2023, där resultaten redovisas i Figur 39. Beläggningarnas styvheter har efter passningsräkning temperaturkorrigerats till 10 °C. Det kan utifrån resultaten tydas att samtliga styvheter för förstärkningslagren har ökat över tid. Den öppna överbyggnadens beläggningen blev dubbelt så styv över tidens gång, likaså har det obundna bärlagrets styvhet fördubblats för ÖÖB. Vad gäller referensytan GBÖ har dess beläggning och obundet bärlagrets styvhet sänkts till ungefär hälften över denna tidsperiod. Till skillnad från detta har den alternativa överbyggnaden GBÖ ökat sin beläggningens styvhet något, och styvheten för det obundna bärlagret har minskat med tiden.

5. Diskussion och slutsatser

Studiens syfte var att utvärdera bärigheten för de olika sträckorna och huruvida bärigheten påverkades av införandet av en BGG-lösning. Studiens resultat påpekar att det kan skilja sig från en yta till en annan. Asfaltlagret ger ett stort tillägg till styvhetsnivån. Enligt studiens resultat kan skelettjorden vara ett gott tillägg till konstruktionen för att bemöta pågående klimatförändringar och öka attraktivitet för en stadsdel. Dessutom medför sådana konstruktioner en ökning i andelen biosystemtjänster och ett ökat välmående i en stadsmiljö samtidigt som en accepterad bärighetsnivå uppnås enligt finska riktlinjerna. Särskild hänsyn behöver tas till planering och uppförande av sådana konstruktioner då avvikelser kan påverka livslängden markant.

5.1. Resultatdiskussion

5.1.1. Skelettjordskonstruktioner

Styvheten är sämre för skelettjordskonstruktionerna i jämförelse med referenskonstruktionerna förutom för Möllans parkeringsyta 2, däremot klarar skelettjordskonstruktionerna de satta styvhetskraven enligt de finska värdena för trafikklass 1. Skelettjordskonstruktionerna påvisar även högre deflektion än referenskonstruktionerna förutom för parkeringsyta 2. Detta kan belysas särskilt i samband med kontroll av deflektionsbassängens geofoner mellan avståndet 200-300 mm, lutningen är brantare än resterande delar av deflektionsbassängen vilket kan innebära att de obundna lagren möjligtvis brister i aspekter såsom packning då ensgraderade material påvisar sig vara svårare att packa än välgraderade material. Lösa material kan minska styvheten upp till 50 % jämfört med ordentligt packade materiallager, främst på grund av att antalet beröringspunkter och stabiliteten ökar för en konstruktion (Lekarp et. al., 2000). Dock är packning inte den enda aspekten att ta hänsyn till även om den är viktig.

Asfalttöjningen är väldigt avvikande i samband med möllans parkeringsyta 1 där töjning översteg $800 \mu - strain$ till skillnad från parkeringsyta 2 som har en töjning på cirka $200 \mu - strain$. Detta kan indikera på problem för detta asfaltlager. Konstruktionerna för parkeringsyta 1 och 2 skiljer sig enbart i skelettjordens tillägg av pimpsten, biokol och grönkompost men resultaten skiljer sig nämnvärt, detta kan möjligtvis påpeka avvikelser i utförandet. Denna skillnad kan försvåra packningsarbetet och därmed påverka den totala bärigheten. Vad gäller BCI-värdena är skelettjordskonstruktionernas värden tydligt lägre för referensytorna än för skelettjordskonstruktionerna, skelettjordskonstruktionerna har mellan 20 – 70 % högre värden än referensytorna. Enligt fjärdepotensregeln har parkeringsyta 2 en livslängd som är 306 gånger längre än livslängden för parkeringsyta 1.

Skelettjordskonstruktioner konstrueras med större stenmaterial vilka har en sämre stabilitet än ett välgraderat material (Lekarp et. al., 2000). Det är viktigt att motverka materialomblandning då detta lätt kan ske mellan olika lager där större skillnader mellan kornstorlekar förekommer. Materialomblandningar kan medföra problematik såsom sättningar som drastiskt kan förkorta konstruktionens livslängd. En annan påverkansfaktor

är kornstorleksfördelningen för dränerande material, deformationsbenägenheten kan fördubblas om fraktion 2/32 används i stället för 0/32. Skelettjordskonstruktioner har däremot väldigt mycket större fraktioner vilket kan innebära ytterligare deformationsbenägenhet och kräver extra försiktighet i samband med utförande och trafikering.

Ensgraderade materialfraktioner som används i samband med skelettjordskonstruktioner kan tåla fukt upp till mätnadspunkt utan att bärigheten påverkas till skillnad från välgraderade material vars bärighet minskar med 50 % i samband med en ökad fukthalt från 70 till 97 % (Lekarp et. al., 2000). Att bärigheten påverkas i så stor grad av fukthalten kan möjligtvis vara en anledning till att vattnet är den konventionella vägens fiende.

5.1.2. Öppna överbyggnader

Resultaten för Borrebackevägen påvisar att den öppna överbyggnaden och referensytan har ungefär lika god styvhet. Det är viktigt att lyfta att asfaltlagret är tjockare för dessa överbyggnader i jämförelse med referenskonstruktionen. Referenskonstruktionens asfalt är 135 mm i relation till alternativkonstruktion och den öppna överbyggnadens asfaltlager på tjocklekarna 160 mm respektive 190 mm. Det kan därför konstateras att ett tjockare asfaltlager medför högre styvhet. Enligt beräkningsexemplet med PMS-Objekt kan ett tillägg på 55 mm asfalt öka beläggningens livslängd med ungefär 30 år.

Deflektionsbassäng påvisade minimala skillnader mellan de olika ytorna vilket innebär en god bärighet för samtliga överbyggnadstyper. Ytmodulen och asfalttjörningen visade sig vara på ungefär samma nivå för den öppna överbyggnaden i relation till referenskonstruktionen, främst anledning är möjligtvis asfalttjockleken. Bäst resultat fick alternativkonstruktionen GBÖ alt.

5.1.3. Täta överbyggnader med dränerande funktion

Styvheterna för samtliga konstruktioner klarar de finska kraven för lågtrafikerade vägar med marginal, de flesta ytorna landade runt värdet 360 MPa. Asfaltlagren som användes i området är väldigt tunna, ca 40 mm beläggningasfalt, främst på grund av att trafikflöden i sådana områden inte överstiger några hundra fordon per dag. Möjligtvis kan detta vara för att skydda överbyggnaden från byggtrafiken. Inga större avvikande värden förekom för asfalttjörningarna eller BCI-värdena.

5.1.4. Tidens inverkan på öppna överbyggnader

Den öppna överbyggnadens samtliga lager har fått ökade styvheter år 2023 i förhållande till passningsräkningen för år 1991. Dessutom kan resultatet påvisa att samtliga förstärkningslagers styvheter och den alternativa överbyggnadens beläggning-styvhet har ökat. Att styvheten har ökat för dessa olika lager kan bland annat bero på att packningen ökat till följd av trafikeringen.

Bäst styvhetsresultat hade den alternativa grusbitumenöverbyggnaden med Viacobase-lagret. Viacobase-lagret är jämfört med AG 22 ett mycket kompakt material med låg hålrums halt, Viacobase-lagret har cirka 0,5 % hålrums halt jämfört med AG 22 som varierar mellan 1-6 % (Hornwall, 1998). Detta kan vara en indikation på att stabiliteten och bärigheten är högre för Viacobase än för AG-lagret.

Borrebackevägen var ett testprojekt för att testa och samla kunskap kring dränerande överbyggnader, kunskapen var därmed begränsad om hur de obundna lagren skulle bete sig. Entreprenören fick i ett tidigt skede problem med utläggningen av materialen då både kornstorleken och lagertjockleken ställde till det, detta gällde dock enbart den öppna överbyggnaden. Detta delprojekt behövde övergå från att använda sig av fraktionerna 18/80 och 32/120 mm för bärlager respektive förstärkningslager, till att använda sig av makadam med stenstorlek 4/120 mm. De större fraktionerna av storlekarna 18/80 och 32/120 var svåra att packa ordentligt. Packning skedde enbart med några få överfarer, och en avvikelse på +/- 5 cm kunde ses vilket medförde att jämnhetskraven inte kunde uppnås. Ytterligare packning medförde att makadamen skadades. Det var svårt att utföra packningskontroll på grund av att makadamen var grov. Man valde att låsa stenarna med hjälp av indränkning av bitumenemulsion och med tunn avsandning med fraktion 8/20, detta lager nämns påverka genomsläppligheten minimalt. Samtidigt var detta viktigt för att byggrafiken skulle kunna framföras på ytan (Wahlman & Stahle, 1991).

Det av vikt för multifunktionella konstruktioners obundna lager att de inte vattenfylls under en längre period då vattnet agerar som ett smörjmedel och kontaktpunkterna mellan stenarna tappas. I samband med trafikpåverkan och vattenfyllda porer kan porvattentrycket leda till att stenskelettet påverkas. På så sätt förändras den inbördes struktur som var tänkt mellan stenarna. Resultatet blir sättningar och en påverkad bärighet. Asfalten kan ge en markant påverkan på styvheten för en överbyggnad. Dessutom kan ett tjockare asfaltlager medföra att dessa konstruktioner får en ökad livslängd. Enligt beräkningsexemplet med PMS-Objekt kan beläggningens livslängd öka med cirka 30 år med ett tillägg av 55 mm asfalt för en konstruktion.

5.2. Metoddiskussion

Litteraturstudien utfördes för att få en inblick i det aktuella området, denna del är viktig för att ge läsaren en god grund för att kunna förstå resultaten som denna studie har erhållit. Dessutom lyfter litteraturstudien liknande studier vilket kan ge en indikation för läsaren hur det aktuella vetenskapliga läget ser ut i resterande delar av landet. På så sätt får läsaren en överblick av hur kunskapsläget ser ut idag. Det är viktigt att vara källkritisk till den fakta som nyttjas, däremot har majoriteten av studiens källor varit myndigheter eller andra relevanta källor.

Bärighetsmätningen som utförts har enbart utgått från fallvikt som metod, främst kan andra mätningar såsom plattbelastning användas under genomförandet för att försäkra sig om att fullgod packning har uppnåtts. Dessutom har lagertjocklekarna för de olika konstruktionerna inte kunnat verifieras genom totalstation eller dylikt då kommuner i regel handlar upp gator i enlighet med regelverk där krav på exempelvis plattbelastning inte ingår. En annan svaghet med tillvägagångssättet är att materialprov inte tagits för att försäkra sig om materialkvaliteten och materialsammansättningen.

Problematiken med fallvikt är att den är tidsberoende, det vill säga att en fallviktsmätning före eller efter den utsatta tiden för fallviktsprovet kan leda till andra resultat. Detta kan i första hand relateras till exempelvis efterpackningar från trafiken. Dessutom har det nämnts i kapitlet om fallvikt att metoden kan påverkas av konstruktionens fuktillstånd, temperatur och stabiliteten. Utrustning och verktyg tillhörandes fallviktsmetodiken kan i vissa fall leda till felaktigheter på grund av felkalibrering eller andra defekter.

I detta fall är det rimligt att använda sig av fallvikt, främst då denna metod är objektiv och där utfallen inte påverkas i lika stor grad av den som utför arbetet som i fallet med okulärbesiktning. Metoden fallvikt användes för att fastställa bärigheten för Borrebackevägen år 1991, detta innebär att just fallviktsmätning krävdes för att kunna få historiskt jämförbara resultat för vägen. På detta sätt kan trender analyseras på ett rimligt vis med minimal risk för fel.

Regressionsanalysens variabler kan i vissa fall vara oberoende, därför har determinationskoefficienten beaktats i denna studie för att stärka argumentet med metoden. Det linjära sambandet har använts för att motivera varför resultat som avviker mer än 5 % i samband med normeringen kan användas, främst beror detta på att materialens egenskaper inte förändras om resultaten avviker mer än 5 %.

6. Slutsatser

Syftet med examensarbetet är att undersöka bärigheten för multifunktionella ytor i Malmö. Därför ställdes följande frågeställning enligt nedan: Hur påverkas vägkonstruktioners bärighet på grund införandet av multifunktionella ytors jämfört med en konventionell överbyggnad?

Denna studie resulterade i följande slutsatser:

- Livslängden är kortare för skelettjordskonstruktioner i jämförelse med konventionella konstruktioner.
- Skelettjordskonstruktioner nådde upp till trafikclass 1 enligt finska riktlinjerna.
- BCI-värdena påvisade att referenskonstruktionerna hade lägre värden i jämförelse med de multifunktionella ytornas värden.
- Tömningstiden för konstruktionen får inte överstiga 24 - 48 timmar för att minska risken för bestående skador i konstruktionen (Svensk Markbetong, 2019).
- Ensgraderade material är svårare att packa tillräckligt i jämförelse med välgraderade material. Därför bör antalet överfarer spegla detta, det vill säga att överfarterna bör vara fler än de som anges i AMA, men färre än att materialet krossas.
- Ett tjockare asfaltlager ökar styvheten för en multifunktionell yta. Ett 55 mm tjockt asfaltlager resulterade i att den öppna överbyggnaden för Borrebackevägen hade lika god styvhet som sin konventionella motpart. För kvarter Gjuteriet var resultaten liknande, dvs. att ett 40 mm tjockt asfaltlager medförde att bärigheten för den dränerande och den konventionella ytorna var likartad.
- En konstruktion med tjockare asfaltlager ska dock användas med omsorg då dessa konstruktioner är mer utsatta för att deformeras, särskilt på ytor med stillastående trafik.
- I en historisk jämförelse visade det sig att tiden har en förstyvande effekt på materialen i en öppen överbyggnad.

6.1.1. Rekommendationer

Skelettjordskonstruktioner är innovativ konstruktionstyp, en viktig del av arbetet i samband med rekommendationer av nya tillvägagångssätt är att föra fram de fördelar och nackdelar som kan förekomma med lösningen. Ovissheten om nya konstruktioner kan göra det svårt att implementera dessa, men samtidigt krävs det idag snabba insatser för att i god tid motverka de klimatförändringar som kan påverka samhället. Staden är även begränsad till ytan och kräver därför smarta och effektiva lösningar.

Blågrågröna konstruktionslösningar kan underlätta för samhället att arbeta på flera fronter samtidigt, exempelvis för att underlätta för VA-systemet men även bidra till ökade ekosystemtjänster, utöver huvudsyftet med en god bärighet. Det är av vikt att utföra uppföljningar av testytorna för att sprida informationen till samhället om hur konstruktionen agerar över tid. Detta leder till följande rekommendationer för vidare studier:

- Uppföljning av sträckorna som lyfts upp i denna studie med fallvikt.
- Utvärdering av blågrågröna ytor i Sverige med hänsyn till branschregler.
- En undersökning om hur forskningsvärlden implementerat skelettjordar och vilka resultat detta bidragit med på ett internationellt plan.

7. Referenser

Abdulkadir, I. & Alhassan, H. (2020). Impact of Climate Change on Rheological Properties of Bitumen. *Open Journal of Civil Engineering*, 10, 93-104. doi: 10.4236/ojce.2020.102009.

Agardh, S. & Parhamifar, E. (2014), *Vägbyggnad*. Stockholm: Liber AB.

Al Barkawi H. (2012), *Utvärdering av mekanistisk-empiriska modeller i ett svenskt och ett amerikanskt dimensioneringsprogram för flexibel vägkonstruktion*. Lund, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2012. Thesis. 229

Arvidsson A.K., Blomqvist G., Erlingsson S., Hellman F., Jägerbrand A. & Öberg G. (2012)., *Klimatanpassning av vägkonstruktion, drift och underhåll*. (Elektroniskt) Tillgänglig: *Klimatanpassning (2023-08-18)*

ATB Väg (2005), *Obundna lager*. (Elektroniskt) Tillgänglig: *Obundna material (2023-07-22)*

Barone M. (2021), *Olika trädsustrats vattenhållande kapacitet och dräneringsförmåga – En jämförande studie*. (Elektroniskt) Tillgänglig: *Trädsustrats vattenförhållande kapacitet (2023-07-04)*

Berechman, J. (2003). *Transportation-economic aspects of Roman highway development: The case of Via Appia*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 37. 453-478. 10.1016/S0965-8564(02)00056-3.

Beskow G., (1930). *OM VÄGARNAS BÄRIGHET VID VATTENÖVERMÄTTNING*. Svenska Vägintitutet, Stockholm.

Beskow G., (1931). *OM VÄGARNAS ALLMÄNNA YTUPPMJUKNING I TJÄLLOSSNINGEN*. Svenska Vägintitutet, Stockholm.

Beskow G., (1933). *TJÄLENS BETYDELSE FÖR VÄGBELÄGGNINGAR*. Svenska Vägintitutet, Stockholm.

Boverket (2010), *Mångfunktionella ytor - Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur*. (Elektroniskt) Tillgänglig: *Boverket - Mångfunktionella ytor 2010 (2023-06-20)*

Boverket (2015), Lagen om allmänna vattentjänster. (Elektroniskt) Tillgänglig: LAV - Boverket (2023-06-28)

Boverket (2020), Ekosystemtjänster i den byggda miljön – vägledning & metod. (Elektroniskt) Tillgänglig: Ekosystemtjänster (2023-06-23)

Britannica, (2023), Appian Way. Encyclopedia Britannica. (Elektroniskt) Tillgänglig: Via Appia (2023-07-11)

Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2014). John Loudon McAdam. (Elektroniskt) Tillgänglig: Vägens historia, McAdam (2023-07-03)

Carlsson S. & Mohamed R. (2023), Planering för klimatanpassning mot skyfall. (Elektroniskt) Tillgänglig: Planering för klimatanpassning mot skyfall (2023-06-23)

Ekblad, J., & Isacson, U. (2006). Influence of water on resilient properties of coarse granular materials. Road materials and pavement design, 7(3), 369–404.

Ekdahl P. (2019), Bära eller brista - HANDBOK I TILLSTÅNDSBEDÖMNING AV BELAGDA GATOR OCH VÄGAR. (Elektroniskt) Tillgänglig: Bära eller brista (2023-07-10)

Eklund A., Mårtensson J.A., Bergström S., Björck E., Dahné J., Lindström L., Nordborg D., Olsson J., Simonsson L. & Sjökvist E. (2015), Sveriges framtida klimat. (Elektroniskt) Tillgänglig: Sveriges framtida klimat (2023-07-25)

Emanuelsson A. & Jansson A. (2013), Dynamisk skjuvreometer för reologisk undersökning av bitumen. (Elektroniskt) Tillgänglig: DSR (2023-09-25)

Eriksson P (2019), Överbyggnadsmaterial vid anläggning av hårdgjorda ytor. (Elektroniskt) Tillgänglig: överbyggnadsmaterial (hämtad 2023-09-26)

Fang M., Park D., Singuranayo J. L., Chen H. & Li Y. (2019) Aggregate gradation theory, design and its impact on asphalt pavement performance: a review, International Journal of Pavement Engineering, 20:12, 1408-1424, DOI: 10.1080/10298436.2018.1430365

Gabrielsson E. & Stål V. (2020), Växtsubstrat för en hållbar stad. (Elektroniskt) Tillgänglig: Växtsubstrat för en hållbar stad (2023-07-05)

Gandahl R., (1987). Tjäle och tjälskydd. (Elektroniskt) Tillgänglig: Tjäle och tjälskydd (2023-08-02)

Granbom E. (2015), Inventering av dimensioneringsmetoder för överbyggnader hos vägar och övriga trafikerade ytor. (Elektroniskt) Tillgänglig: Dimensioneringsmetoder för överbyggnader (2023-07-19)

Granholm C. (2017), Alla vägar leder till Rom. (Elektroniskt) Tillgänglig: Romariket (2023-07-11)

Hellman F., Simonsen E., Rahman S., Döse M., & Schouenborg B. (2022), Projekt: Formas. Multifunktionella urbana dagvattenanläggningar. (Elektroniskt) Tillgänglig: Projekt Formas (2023-07-25)

Hieronimus, M., Kalén, O., (2020). Sea-level rise projections for Sweden based on the new IPCC special report: The ocean and cryosphere in a changing climate. *Ambio* **49**, 1587–1600. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01313-8>

Hornwall F. (1998), Permeabilitetsbestämning på asfaltbeläggning. (Elektroniskt) Tillgänglig: Viacobase (2023-07-25)

Hydén, C. (2008) Trafiken i den hållbara staden. Studentlitteratur, Lund.

Hålam S. (2015), Grönkompost som krukodlingssubstrat. (Elektroniskt) Tillgänglig: Grönkompost (2023-07-05)

Höbeda P. (1995), Stenmaterialets betydelse för funktionen hos asfaltbeläggning svenska förhållanden. (Elektroniskt) Tillgänglig: Stenmaterialets betydelse (2023-08-17)

Höbeda P. (2018), Stenmaterial (Elektroniskt) Tillgänglig: Stenmaterial (2023-08-17)

IPCC (2022), Climate Change 2022 - Mitigation of Climate Change. (Elektroniskt) Tillgänglig: IPCC_AR6_WGIII (2023-06-20)

Jacobson T. & Wågberg L.-G. (2007) Utveckling och uppgradering av prognosmodell för beläggningsslitage från dubbade däck samt en kunskapsöversikt över inverkan faktorer. (Elektroniskt) Tillgänglig: prognosmodell för beläggningsslitage (2023-08-03)

Johannson K. (2005), Grusvägars uppbyggnad, nedbrytning och underhåll. (Elektroniskt) Tillgänglig: Grusvägars nedbrytning (2023-07-15)

KTH, Chalmers, VTI, Spacescape, Sweco & White Arkitekter (2022), DESIGNGUIDE FÖR SMARTA GATOR. (Elektroniskt) Tillgänglig: Designguide smarta gator (2023-07-18)

Khomami A. B. & Pour J. A. (2020), PMS Objekt vs ERAPAVE-ME. (Elektroniskt) Tillgänglig: PMS vs ERAPave (2023-07-18)

Kjellström E., Abrahamsson R., Boberg P., Jernbäcker E., Karlberg M., Morel J. & Sjöström Å. (2014), UPPDATERING AV DET KLIMATVETENSKAPLIGA KUNSKAPSLÄGET. (Elektroniskt) Tillgänglig: Uppdatering av det klimatvetenskapliga kunskapsläget (2023-07-25)

Larsson R. (2008), Jords egenskaper. SGI. (Elektroniskt) Tillgänglig: Jords egenskaper (2023-07-24)

Lay M. G. (1999). Ways of the World: A History of the World's Roads and of the Vehicles that Used Them. Rutgers University Press. ISBN10: 0813526914

Lay, M. Gordon & Benson, Fred J. (2022). road. Encyclopedia Britannica. (Elektroniskt) Tillgänglig: Vägbyggnadsteknikens historia (2023-07-03)

Lekarp F., Isacson U. & Dawson A. (2000). STATE OF THE ART - I: RESILIENT RESPONSE OF UNBOUND AGGREGATES. (Elektroniskt) Tillgänglig: Resilient response (2023-10-23)

Lekarp F., Isacson U. & Dawson A. (2000b). STATE OF THE ART I: PERMANENT STRAIN RESPONSE OF UNBOUND AGGREGATES. (Elektroniskt) Tillgänglig: Permanent deformation (2023-10-23)

Lira B. (2020). Influence of aggregates on permanent deformation of asphalt. (Elektroniskt) Tillgänglig: Influence of aggregates (2023-08-17)

Lira B., Ekblad J. & Lundström R. (2021) Evaluation of asphalt rutting based on mixture aggregate gradation, Road Materials and Pavement Design, 22:5, 1160-1177, DOI: 10.1080/14680629.2019.1683061

Malmö stad (2023a), Skyfallsanpassning. (Elektroniskt) Tillgänglig: Skyfallsanpassning (2023-10-18)

Malmö stad (2023b), Sydvästra cementen. (Elektroniskt) Tillgänglig: Cementen (2023-10-18)

Malmö stad (2023c), Nobelvägen. (Elektroniskt) Tillgänglig: Nobelvägen (2023-10-18)

Maria, V.D., Rahman, M.M., Collins, P., Dondi, G., & Sangiorgi, C. (2013). Urban Heat Island Effect: thermal response from different types of exposed paved surfaces. *International journal of pavement research and technology*, 6, 414-422.

Murén & Didriksson (2017), Krossmaterial från ett entreprenörperspektiv med fokus på tillverkning och karakterisering. (Elektroniskt) Tillgänglig: Krossmaterial (hämtad 2023-10-31)

Nationalencyklopedin (2023), adhesion. (Elektroniskt) Tillgänglig: adhesion (hämtad 2023-09-19)

Nationalencyklopedin (2023), homogen. (Elektroniskt) Tillgänglig: homogen (hämtad 2023-09-25)

Nationalencyklopedin (2023), Isotropi. (Elektroniskt) Tillgänglig: Isotropi (hämtad 2023-09-25)

Nationalencyklopedin (2023), kohesion. (Elektroniskt) Tillgänglig: kohesion (hämtad 2023-09-19)

Nationalencyklopedin (2023), kornstorlek. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/kornstorlek> (hämtad 2023-12-18)

Nilsson (2020), Bärighetsmätning med Traffic Speed Deflektometer (TSD). (Elektroniskt) Tillgänglig: Bärighetsmätning med TSD (2023-07-25)

Simonsen (1977), Utvärderingsmetoder för bärighetsmätningar. (Elektroniskt) Tillgänglig: Utvärderingsmetoder för bärighetsmätningar (2023-07-25)

Nivitha, M.R., Murali Krishnan, J. What is Transition Temperature for Bitumen and How to Measure It?. *Transp. in Dev. Econ.* 2, 3 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40890-015-0009-y>

Pennsylvania Dept. Of Transportation (2017), (Elektroniskt) Tillgänglig: Road problems in Pennsylvania (2023-08-03)

Persson G., Sjökvist E., Åström S., Eklund D., Andréasson J., Johnell A., Asp M., Olsson J & Nerheim S. (2012), Klimatanalys för Skåne län. (Elektroniskt) Tillgänglig: Klimatanalys Skåne (2023-08-10)

Pettersson J. (2006), Växtbäddar för träd i gatumiljö. (Elektroniskt) Tillgänglig: Växtbäddar i stadsmiljö (2023-07-10)

Rahman S., Simonsen E. & Hellman F. (2017), Swedish Design Tables for Permeable Block. Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer

Regeringen (2017), Offentlig utfrågning om anpassning av väg och järnväg till ett förändrat klimat. (Elektroniskt) Tillgänglig: BK4 (2023-08-10)

Regeringskansliet (2021), Sveriges genomförande av Agenda 2030 för hållbar utveckling. (Elektroniskt) Tillgänglig: Sveriges genomförande av Agenda 2030 (2023-06-20)

Runander S. (2014), Tekniska lösningar för konstruerade växtbäddar ämnade för gatuträd. (Elektroniskt) Tillgänglig: Tekniska lösningar för växtbäddar (2023-08-15)

SGI (2019), Jords tekniska egenskaper. (Elektroniskt) Tillgänglig: Jords tekniska egenskaper - SGI (2023-07-10)

SGU (2020), Varför varierar klimatet? (Elektroniskt) Tillgänglig: Klimatvariationer (2023-08-18)

SMHI (2023), Fördjupad klimatscenariotjänst. (Elektroniskt) Tillgänglig: Fördjupad klimatscenariotjänst | SMHI (2023-11-01)

Sil A, Betkerur J, Das NK. (2019). P-Value Demystified. Indian Dermatol Online J. 2019 Nov 1;10(6):745-750. doi: 10.4103/idoj.IDOJ_368_19.

Sulejmani P., Said S., Agardh S.& Ahmed A. (2021), Impact of temperature and moisture on the tensile strain of asphalt concrete layers, International Journal of Pavement Engineering, 22:13, 1711-1719, DOI: 10.1080/10298436.2020.1715404

Svensk Markbetong (2019). Fördröjning av dagvatten med dränerande markstensbeläggning. (Elektroniskt) Tillgänglig: Dränerande beläggningar (2023-12-18)

Svensson, C. (2012). Kompendium i Teknisk Geologi. Lund: Tekniska Högskolan i Lund.

Trafikverket (2023a), Tjällossning, tjälskador och potthål. (Elektroniskt) Tillgänglig: Dimensionering och utformning (2023-10-31)

Trafikverket (2020), Utvärdering av vägkonstruktioners bärighet med fallviktsapparat, KRAV. Version 1.0 (2023-06-20)

Trafikverket (2023), Överbyggnad väg - Dimensionering och utformning, KRAV. (Elektroniskt) Tillgänglig: TRVINFRA-00224 Version 4 (2023-06-20)

VA SYD (2023), Dagvatten. (Elektroniskt) Tillgänglig: VA SYD - Dagvatten (2023-06-20)

Vaitkus, A., Žalimienė, L., Židanavičiūtė, J., & Žilionienė, D. (2019). Influence of Temperature and Moisture Content on Pavement Bearing Capacity with Improved Subgrade. *Materials*, 12.

Vännman K. och Jonsson A., (2020) Matematisk statistik, tredje upplagan, Studentlitteratur 2020. Lund.

Wahlman T. & Stahle F. (1991). Öppna överbyggnader och dränerande bärlager. SBUF. (Elektroniskt) Tillgänglig: SBUF projekt 0115 (2023-07-20)

Wilén N. (2016), Framtagning av standard för skadesammanställning på kommunala gator. (Elektroniskt) Tillgänglig: Framtagning av standard för skadesammanställning (2023-09-07)

Zetterlund C. (2019), Vad kommer 1 % höjning av krontäckningsgraden få för effekt för Möllevångens lokalklimat? (Elektroniskt) Tillgänglig. Krontäckningsgrad höjs, Möllan (2023-11-29)

8. Bilagor

D	113	4	41,1	401	327	264	194	140	73	43	5,1	6,2	1256,39	5535,339	10:37:09	55,58978338	12,93931064
D	113	5	52,8	497	405	327	242	175	93	57	5,1	6,2	1256,39	5535,339	10:37:20	55,58978459	12,93931066

IKUAB	FWD	FILE	:	Kolsyregatan														
HOperator	:	MLWL	:															
HRoad	:	1	:															
HWeather	:	mulet	:															
HStarting point	:	0	:															
HLane	:	1	:															
IDate Created	:	2022-11-28	:															
IVersion	:	2.4.23	:															
ILoad Mode	:	1 (2 + 2 buffers)	:															
IPlate Radius	:	15 (cm)	:															
IExtra Field Set	:	KUAB	:															
IDrop Sequence	:	44	:															
INo of drops	:	11	:															
IRecord Drop?	:	NH	:															
IDrop Height	:	1 2 3 4	:															
IImpact Load	:	10 24,9 40 50 kN	:															
ISensor Number	:	0 1 2 3 4 5 6	:															
ISensor Distance	:	0 20 30 45 60 90 120 (cm)	:															
ISensor Position	:	CENTER BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND	:															
IReference Offset	:	0 m	:															
ITestpoint spacing:		25 m	:															
	JDistance	Imp	Load	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Air	Pave	GPS	GPS	Time			
J	m	Num	kN	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	°C	°C	Long	Lat				
J-----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----				
D	13	2	53,1	432	352	275	197	135	68	40	5,3	6,8	1256,237	5535,638	11:04:23	55,58932707	12,93945377	
D	25	2	52,9	413	323	247	173	118	60	37	5,2	6,2	1256,367	5535,339	10:48:28	55,58937067	12,93927233	
D	38	2	53	584	425	319	213	141	61	32	5	6,4	1256,109	5535,862	11:03:29	55,58944779	12,93912704	
D	50	2	52,8	530	396	295	198	129	55	27	4,5	6	1256,351	5535,345	10:49:12	55,58950217	12,93896303	
D	63	2	53,4	441	343	259	176	115	49	25	5,2	6,3	1256,226	5535,565	11:02:41	55,58958702	12,9388283	
D	77	2	53,3	435	343	265	187	126	60	36	3,6	6,3	1256,343	5535,333	10:50:02	55,58964505	12,93863446	
D	87	2	52,9	545	427	333	234	162	86	54	4,9	6,3	1256,173	5535,666	11:01:56	55,58971711	12,93852214	
D	101	2	52,9	480	380	298	211	145	73	38	4,9	6,3	1256,328	5535,328	10:51:04	55,58976636	12,93831565	
D	113	2	53	553	391	277	173	111	56	39	5	5,8	1256,316	5535,398	11:01:12	55,5898447	12,93817838	
D	125	2	52,9	457	342	253	166	110	54	33	3,8	6	1256,339	5535,285	10:51:58	55,58989592	12,93800905	

D	138	2	52,3	672	514	391	271	197	114	75	5	6,3	1256,316	5535,398	11:00:27	55,58999844	12,93811678
D	150	2	53	612	453	337	221	142	65	39	4,9	6,3	1256,357	5535,269	10:52:44	55,59009021	12,9381931
D	164	2	52,8	615	488	390	279	200	106	68	4,9	6,6	1256,316	5535,398	10:59:41	55,5901884	12,93834729
D	176	2	52,7	605	459	343	231	153	72	45	5,5	6,6	1256,383	5535,271	10:54:55	55,59029286	12,93842358
D	188	2	52,6	669	509	382	261	179	99	66	5,1	6,6	1256,316	5535,409	10:58:56	55,59037173	12,93855057
D	198	2	52,2	763	546	405	272	191	102	68	5,2	6,4	1256,384	5535,27	10:55:56	55,59044958	12,93860302
D	150	2	12,6	138	103	75	49	31	13	8	5,5	6,4	1256,356	5535,27	10:53:43	55,59009144	12,93819304
D	150	3	25,9	304	231	169	110	70	31	17	5,5	6,4	1256,355	5535,27	10:53:49	55,59009087	12,93819577
D	150	4	41,2	473	356	262	174	112	51	31	5,5	6,4	1256,355	5535,271	10:53:57	55,59009144	12,93819522
D	150	5	52,9	588	443	329	220	143	67	39	5,5	6,4	1256,355	5535,271	10:54:07	55,59009021	12,93819525

IKUAB	FWD	FILE	:	Borrebackevägen													
HOperator:		MLWL															
HRoad	:	1															
HWeather	:	mulet															
HStarting point	:	0															
HLane	:	1															
IDate	Created	:	2022-11-25														
IVersion	:	2.4.23															
ILoad	Mode	:	1 (2 + 2 buffers)														
IPlate	Radius	:	15 (cm)														
IExtra	Field Set	:	KUAB														
IDrop	Sequence	:	44														
INo	of drops	:	11														
IRecord	Drop?	:	NH														
IDrop	Height	:	1 2 3 4														
IImpact	Load	:	10 24,9 40 50 kN														
ISensor	Number	:	0 1 2 3 4 5 6														
ISensor	Distance	:	0 20 30 45 60 90 120 (cm)														
ISensor	Position	:	CENTER BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND														
IReference	Offset	:	0 m														
ITestpoint	spacing:	25 m															
	JDistance	Imp	Load	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Air	Pave	GPS	GPS	Time		
J	m	Num	kN	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	°C	°C	Long	Lat			
D	13	2	52,9	361	268	196	141	105	63	43	3,7	5	1259,102	5531,77	16:32:27	55,52950133	12,98503150
D	25	2	53,8	347	265	214	164	125	72	45	3,8	5,6	1259,109	5531,769	15:49:15	55,52948583	12,98515017
D	38	2	52,7	316	252	204	161	123	73	46	3,7	5,1	1259,124	5531,775	16:31:37	55,52958333	12,98540667

D	51	2	53,9	318	252	199	150	110	60	37	3,7	5,6	1259,132	5531,773	15:50:34	55,52955717	12,98554133
D	61	2	52,7	334	268	218	171	134	86	54	3,7	4,8	1259,147	5531,779	16:30:48	55,52964633	12,98578550
D	76	2	53,8	315	254	206	161	124	77	55	3,7	5,4	1259,154	5531,778	15:52:02	55,52963367	12,98590617
D	88	2	52,8	186	165	144	123	103	72	52	3,8	5	1259,169	5531,783	16:30:05	55,52972183	12,98614617
D	101	2	53,7	277	233	195	155	122	77	51	3,7	5,4	1259,175	5531,782	15:53:03	55,52970567	12,98625800
D	112	2	52,6	225	192	162	131	106	69	48	3,7	5	1259,19	5531,788	16:29:20	55,52979200	12,98650033
D	128	2	53,6	336	273	223	172	133	80	52	3,5	5,3	1259,2	5531,787	16:00:39	55,52978700	12,98666967
D	128	2	12,5	81	65	52	38	28	16	10	3,5	5,1	1259,2	5531,787	16:01:19	55,52978700	12,98666983
D	137	2	52,6	364	284	229	176	135	79	51	3,7	5	1259,214	5531,792	16:28:34	55,52986800	12,98689283
D	152	2	53,7	234	196	167	140	116	78	54	3,5	5,1	1259,221	5531,791	16:02:34	55,52984800	12,98702150
D	162	2	52,9	233	202	171	140	114	73	49	3,7	5	1259,236	5531,796	16:27:50	55,52993417	12,98726317
D	176	2	53,6	290	244	204	166	131	84	55	3,5	5,1	1259,243	5531,795	16:03:23	55,52990950	12,98738450
D	186	2	52,6	214	187	164	139	118	81	56	3,8	5	1259,259	5531,8	16:27:06	55,53000367	12,98764867
D	201	2	53,6	234	207	181	156	131	91	64	3,5	5,1	1259,266	5531,799	16:04:14	55,52997750	12,98776217
D	212	2	52,7	331	262	218	175	135	75	53	3,8	5,1	1259,281	5531,804	16:26:22	55,53006433	12,98802250
D	227	2	53,4	264	234	207	179	151	105	72	3,5	5,1	1259,29	5531,802	16:05:00	55,53003450	12,98816500
D	238	2	52,9	256	228	199	169	141	95	64	3,9	5,1	1259,305	5531,807	16:25:37	55,53011750	12,98842233
D	251	2	53,5	286	253	217	181	147	96	63	3,5	5,1	1259,311	5531,805	16:05:48	55,53008900	12,98851983
D	262	2	52,5	252	220	189	156	126	79	51	3,9	5	1259,327	5531,811	16:24:53	55,53017817	12,98877550
D	276	2	53,4	282	242	203	165	130	79	49	3,5	5,2	1259,335	5531,809	16:06:33	55,53014783	12,98890917
D	288	2	52,9	228	196	165	133	105	63	40	3,8	5,1	1259,35	5531,814	16:24:06	55,53022683	12,98915850
D	300	2	52,9	369	288	236	187	145	86	53	3,5	5,3	1259,357	5531,813	16:07:17	55,53021000	12,98927650
D	313	2	52,9	224	193	165	136	109	68	44	3,8	5,2	1259,372	5531,817	16:23:21	55,53028700	12,98954033
D	325	2	53,2	346	287	242	196	153	90	55	3,5	5,1	1259,379	5531,816	16:08:02	55,53025883	12,98965650
D	334	2	53,1	201	182	159	136	114	76	52	3,9	5,1	1259,393	5531,82	16:22:23	55,53032917	12,98988333
D	351	2	53,3	305	259	220	180	143	88	56	3,6	5,4	1259,403	5531,819	16:08:48	55,53031083	12,99005417
D	363	2	53,1	181	161	141	120	100	67	44	3,8	5,1	1259,421	5531,823	16:21:31	55,53039000	12,99034933
D	376	2	53,2	251	228	197	161	133	87	57	3,7	5,3	1259,426	5531,821	16:09:37	55,53035817	12,99043633
D	388	2	53,1	262	231	195	157	123	72	47	3,7	5	1259,442	5531,826	16:20:39	55,53044017	12,99069883
D	401	2	52,9	341	275	231	184	140	87	53	3,7	5,3	1259,449	5531,824	16:10:30	55,53040400	12,99082317
D	412	2	53,1	322	272	224	171	124	76	48	3,8	5	1259,463	5531,828	16:19:53	55,53047483	12,99104967
D	425	2	53,3	292	248	209	166	129	76	47	3,6	5,3	1259,472	5531,826	16:11:21	55,53043883	12,99120150
D	437	2	53,3	247	217	183	149	118	73	47	3,8	5,1	1259,486	5531,83	16:19:11	55,53050717	12,99143500
D	450	2	53,3	249	220	191	160	130	83	53	3,6	5,2	1259,495	5531,828	16:12:05	55,53047117	12,99158617
D	462	2	53,1	275	236	194	151	114	67	44	3,8	5,1	1259,511	5531,833	16:18:30	55,53054650	12,99184183
D	476	2	53,3	397	311	241	178	127	71	46	3,6	5,1	1259,52	5531,831	16:12:52	55,53051300	12,99199967
D	487	2	53,3	247	220	191	156	125	79	50	3,7	5,1	1259,534	5531,835	16:17:45	55,53057750	12,99222733
D	500	2	53,1	273	248	211	173	135	81	50	3,6	5,1	1259,541	5531,832	16:13:37	55,53052950	12,99235517
D	513	2	53,2	244	199	165	133	104	63	41	3,7	5,2	1259,556	5531,837	16:16:58	55,53061250	12,99260683
D	525	2	53,6	250	216	181	146	116	72	47	3,5	5,2	1259,565	5531,834	16:14:25	55,53055883	12,99275300
D	128	3	26,2	177	144	115	86	65	37	24	3,5	5,1	1259,2	5531,787	16:01:25	55,52978700	12,98666967

D	128	4	41,8	270	219	178	136	104	63	40	3,5	5,1	1259,2	5531,787	16:01:33	55,52978683	12,98666983
D	128	5	53,4	332	269	220	171	132	80	52	3,5	5,1	1259,2	5531,787	16:01:44	55,52978700	12,98666983

IKUAB	FWD	FILE	:	Strandgatan													
HOperator	:	MLWL	:														
HRoad	:	1	:														
HWeather	:	mulet	:														
HStarting point	:	0	:														
HLane	:	1	:														
IDate Created	:	2022-11-28	:														
IVersion	:	2.4.23	:														
ILoad Mode	:	1 (2 + 2 buffers)	:														
IPlate Radius	:	15 (cm)	:														
IExtra Field Set	:	KUAB	:														
IDrop Sequence	:	44	:														
INo of drops	:	11	:														
IRecord Drop?	:	NH	:														
IDrop Height	:	1 2 3 4	:														
IImpact Load	:	10 24,9 40 50 kN	:														
ISensor Number	:	0 1 2 3 4 5 6	:														
ISensor Distance	:	0 20 30 45 60 90 120 (cm)	:														
ISensor Position	:	CENTER BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND BEHIND	:														
IReference Offset	:	0 m	:														
ITestpoint spacing	:	10 m	:														
	JDistance	Imp	Load	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Air	Pave	GPS	GPS	Time		
J	m	Num	kN	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	°C	°C	Long	Lat			
J-----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----			
D	10	2	12,9	164	111	78	49	35	22	16	5,1	7,3	1255,637	5535,209	11:54:01	55,58682300	12,92728217
D	20	2	12,9	122	91	66	43	29	16	12	4,9	7	1255,634	5535,202	11:55:06	55,58670433	12,92723000
D	30	2	12,9	123	90	66	43	30	16	12	4,9	7,2	1255,63	5535,191	11:56:22	55,58651483	12,92716750
D	40	2	12,8	104	83	63	41	29	16	12	4,8	7	1255,624	5535,186	11:57:43	55,58643283	12,92706583
D	50	2	12,7	101	78	60	42	31	16	12	4,8	7,2	1255,622	5535,183	11:58:57	55,58638883	12,92702867
D	60	2	12,7	130	91	65	40	28	16	11	4,8	7	1255,613	5535,181	12:00:06	55,58634383	12,92689117
D	71	2	12,8	96	70	49	27	15	5	4	5,1	7,1	1255,611	5535,184	12:01:29	55,58639717	12,92684683
D	10	3	25,8	392	268	190	122	83	48	35	5,1	7,3	1255,637	5535,209	11:54:08	55,58682250	12,92728183
D	20	3	25,9	282	213	158	103	69	36	26	4,9	7	1255,634	5535,202	11:55:15	55,58669633	12,92722750

IVersion	:	2.4.23																
ILoad	Mode	:	1	(2	+	2	buffers)											
IPlate	Radius	:	15	(cm)														
IExtra	Field	Set	:	KUAB														
IDrop	Sequence	:	44															
INo	of	drops	:	11														
IRecord	Drop?	:	NH															
IDrop	Height	:	1	2	3	4												
IImpact	Load	:	10	24,9	40	50	kN											
ISensor	Number	:	0	1	2	3	4	5	6									
ISensor	Distance	:	0	20	30	45	60	90	120	(cm)								
ISensor	Position	:	CENTER	BEHIND	BEHIND	BEHIND	BEHIND	BEHIND	BEHIND									
IReference	Offset	:	0	m														
ITestpoint	spacing:		20	m														
	JDistance	Imp	Load	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Air	Pave	GPS	GPS	Time			
J	m	Num	kN	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	°C	°C	Long	Lat				
D	3096	2	53,3	663	480	350	212	128	60	38	5,1	8,9	1300,875	5535,358	19:09:23	55,58930450	13,01458950	
D	3116	2	53,2	757	541	404	250	156	77	50	5,3	9,3	1300,889	5535,365	19:10:01	55,58941967	13,01481700	
D	3138	2	52,7	922	626	435	255	158	82	58	5,5	7,4	1300,906	5535,371	19:10:57	55,58952033	13,01509917	
D	3157	2	11,4	174	124	88	54	36	19	14	5	7,7	1300,917	5535,383	19:11:42	55,58971633	13,01527833	
D	3157	3	26,1	425	304	216	130	80	40	28	5	7,7	1300,917	5535,383	19:11:48	55,58971633	13,01527817	
D	3157	4	41,2	681	482	345	210	131	67	47	5	7,7	1300,917	5535,383	19:11:55	55,58971600	13,01527850	
D	3157	5	52,9	836	586	420	259	166	87	62	5	7,7	1300,917	5535,383	19:12:05	55,58971600	13,01527900	
D	3175	2	50,7	2300	1421	1073	380	319	211	136	4,8	7,2	1300,931	5535,39	19:12:57	55,58983933	13,01551050	
D	3204	2	52,8	751	576	448	317	227	123	83	5,2	8,9	1300,944	5535,401	19:13:47	55,59002333	13,01572600	
D	3217	2	53,5	623	511	418	306	220	124	80	5,6	8,3	1300,951	5535,407	19:14:23	55,59012050	13,01584633	
D	3267	2	53,1	698	582	480	368	279	168	110	5,3	8	1300,979	5535,437	19:15:14	55,59061717	13,01631667	
D	3297	2	11,4	130	111	91	70	53	31	20	5	9,4	1301,006	5535,438	19:15:57	55,59063617	13,01676617	
D	3297	3	26,4	321	273	224	170	126	72	44	5	9,4	1301,006	5535,438	19:16:03	55,59063383	13,01676533	
D	3297	4	41,7	533	452	375	288	215	123	75	5	9,4	1301,006	5535,438	19:16:10	55,59063300	13,01676450	
D	3297	5	53,4	675	569	474	365	274	158	98	5	9,4	1301,006	5535,438	19:16:20	55,59063217	13,01676367	
D	3317	2	53,3	792	581	442	303	209	116	77	4,9	7,5	1301,018	5535,445	19:17:00	55,59075350	13,01696483	
D	3337	2	53	828	606	442	285	194	106	71	4,9	7	1301,035	5535,453	19:17:41	55,59087950	13,01724750	
D	3358	2	53	713	574	457	325	222	120	87	4,9	6,9	1301,044	5535,461	19:18:23	55,59101983	13,01739600	
D	3380	2	53	618	495	383	285	214	126	81	4,8	8	1301,058	5535,469	19:19:01	55,59114717	13,01763033	
D	3397	2	52,9	693	547	430	303	219	129	89	4,7	7,5	1301,069	5535,475	19:19:40	55,59124583	13,01781200	
D	3417	2	53	834	599	439	297	214	137	100	4,7	7,2	1301,084	5535,486	19:20:18	55,59143250	13,01806617	
D	3437	2	53,4	263	242	219	194	171	124	89	4,6	7,6	1301,094	5535,493	19:20:58	55,59155183	13,01822717	
D	3458	2	52,8	837	637	490	342	242	134	90	4,7	7,8	1301,103	5535,5	19:21:39	55,59166350	13,01838450	

