

Varför spricker vissa delsträckor på E6 och E45 i Västra Götalands län?

En jämförelsestudie av materialparametrar i bitumenbundna lager

Adani Juzel

Mahmood Al-Obaidi

Trafik och Väg

Institutionen för Teknik och Samhälle

Lunds Tekniska Högskola

Lunds Universitet



Copyright © Adani Juzel, Mahmood Al-Obaidi

LTH, Institutionen för Teknik och samhälle
CODEN: LUTVDG/(TVTT-5390)/1-103/2026
ISSN 1653-1922

Tryckt i Sverige av Media-Tryck, Lunds universitet
Lund 2026

Examensarbete

CODEN:

LUTVDG/(TVTT-5390)/1-103/2026

ISSN 1653-1922

Thesis / Lunds Tekniska Högskola,
Institutionen för Teknik och samhälle,
Trafik och väg, 423

Author(s): Adani Juzel
Mahmood Al-Obaidi
Title: Varför spricker vissa delsträckor på E6 och E45 i Västra
Götalands län?
English title: Why do certain sections of the E6 and E45 in Västra Götaland
County crack?
Language: Swedish
Year: 2026
Keywords: Sprickor; Sprickbildning; Bitumenbundna lager;
Materialparametrar; Vägunderhåll; Vägbyggnad
Citation: Juzel & Al-Obaidi, Varför spricker vissa delsträckor på E6 och
E45 i Västra Götalands län?. Lund, Lunds universitet, LTH,
Institutionen för Teknik och samhälle. Trafik och väg 2026.
Thesis. 423

Abstract:

Cracking has been observed on certain sections of the E6 and E45 highways in Västra Götaland County, Sweden, despite similar traffic conditions and pavement structures. The purpose of this study was to investigate possible material related factors contributing to asphalt pavement cracking. Historical quality control data, project documentation and new field investigations were used to compare cracked and non cracked road sections. Drilled core samples were tested for air void content, binder content, gradation, softening point, water sensitivity and layer thickness. The results showed no clear connection between cracking and individual parameters such as binder content, water sensitivity or layer thickness. Instead, the cracked sections showed larger variations in air void content during construction and a less homogeneous asphalt mixture. Visual assessment of the cores also revealed uneven binder distribution and locally dry areas. The results indicate that stiffer binders, higher softening points and wax additives may increase pavement brittleness and sensitivity to traffic related cracking. Overall, the study suggests that cracking is caused by several interacting factors rather than a single parameter.

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. Metodik	2
1.4. Avgränsningar	3
1.5. Rapportens disposition	4
2. Litteraturstudie	5
2.1. Belastningar och yttre förutsättningar	5
2.1.1. Trafikbelastning	5
2.1.2. Dimensioneringsklass	5
2.1.3. Klimat	6
2.2. Vägöverbyggnader på högtrafikerade vägar	8
2.2.1. Slitlager	8
2.2.2. Bindlager	9
2.2.3. Bärlager	9
2.2.4. Förstärkningslager	10
2.2.5. Skyddslager	10
2.3. Materialparametrar i de bitumenbundna lagren	10
2.3.1. Bindemedel	10
2.3.2. Hållrum i asfaltbeläggningar	14
2.3.3. Stenmaterial	16
2.3.4. Tillsatsmedel	20
2.3.5. Lagertjocklek	22
2.4. Egenskaper hos asfaltbeläggningar	23
2.4.1. Vattengenomsläpplighet	23
2.5. Nedbrytning	25
2.5.1. Faktorer som påverkar vägkonstruktionens nedbrytning	25
2.5.2. Sprickbildning	25
2.5.3. Spricktyper	29
2.5.4. Påverkan av sprickbildning på underhållsåtgärder och ekonomi	31
2.6. Vägyteegenskaper	32
2.6.1. Spårdjup	32
2.6.2. Ojämnhet - IRI	32
3. Metoder	34
3.1. Objektbeskrivning	34
3.2. PMSv4	36
3.3. Nationell vägdatabas	36
3.4. Bygggritningar	36

3.5. Tillgängligt underlag från produktionen	36
3.6. Datainsamling	37
3.7. Upptag och laboratorieprovning av borrhärlor	38
3.8. Beräkning av intervall för mjukpunkt	39
4. Resultat	41
4.1. Tillståndsparemeterar	41
4.2. Okulär bedömning av skador	41
4.2.1. Okulär skadebild av tillståndet på delsträckorna	42
4.2.2. Okulär bedömning av borrhärlor	43
4.3. Jämförelse av materialdata vid nybyggnation och prover 2026	45
4.3.1. Hållrumshalt	45
4.3.2. Bindemedelshalt	47
4.3.4. Kornstorleksfördelning	50
4.3.5. Vattenkänslighet	53
4.3.6. Okulär bedömning av brottyta efter pressdragprovning	56
4.3.7. Tjocklekar	57
4.4. Skillnader i materialval och utförande	58
4.4.1. Stenmaterial	58
4.4.2. Tillsatsmedel	58
4.4.3. Klistring mellan lagren vid nybyggnation	59
4.5. Fördjupad provning på E45 sprucken	59
5. Diskussion och analys	61
5.1. Resultatdiskussion	61
5.1.1. Hållrum, bindemedelshalt och kornstorleksfördelning	61
5.1.2. Mjukpunkt	62
5.1.3. Vattenkänslighet och vidhäftning	63
5.1.4. Tjocklekar	64
5.1.5. Sammanställd bedömning	65
5.1.6. Ekonomiska konsekvenser av sprickbildning	66
5.2. Metoddiskussion	67
5.2.1. Litteraturstudie och datainsamling	67
5.2.2. Tillgängligt underlag från produktionen	67
5.2.3. Provtagning av borrhärlor	68
5.2.4. Arbetets avgränsningar och begränsningar	68
6. Slutsatser	70
7. Framtida rekommendationer	71
8. Referenser	72
9. Bilagor	79

Förord

Detta examensarbete har genomförts under vårterminen 2026 som en avslutande del av civilingenjörsprogrammet i väg- och vattenbyggnad vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet har utförts vid avdelningen Trafik och väg i samarbete med Trafikverket.

I början av utbildningen var vägbyggnad inte ett område som vi trodde skulle bli vårt främsta intresse. Under utbildningens gång växte dock intresset successivt och fick med tiden ordentligt fäste, vilket gjorde det naturligt att fördjupa oss i ett examensarbete inom detta område.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Pajtim Sulejmani för hans engagemang, värdefulla vägledning och stöd under arbetets gång. Ett stort tack riktas även till Sven Agardh för värdefulla diskussioner och goda råd.

Stort tack till våra handledare på Trafikverket, Fredrik Andersson och Joakim Claesson för uppstarten av detta examensarbete och för det förtroende vi har fått. Ett särskilt tack riktas till Fredrik för hans stora engagemang och för de förutsättningar han skapade för examensarbetets genomförande. Trollhättan visade sig vara betydligt trevligare än vi först trodde – tack för guiden Fredda! Det finns många andra personer som på olika sätt har bidragit till examensarbetet. Även om alla inte kan nämnas vid namn har ert stöd och era insatser varit mycket uppskattade.

Slutligen vill vi tacka våra nära och kära för det stöd vi har fått, inte bara under arbetets gång utan under hela utbildningstiden. Utan er hade detta inte varit möjligt.

Lund, juni 2026

Adani Juzel & Mahmood Al-Obaidi

Sammanfattning

Högtrafikerade vägar utgör en viktig del av transportsystemet och ställer därför höga krav på både dimensionering och utförande. Normalt dimensioneras dessa vägar för en livslängd på cirka 20 år, förutsatt att gällande krav och riktlinjer följs. Trots detta kan olika typer av deformationer och sprickbildningar uppstå innan den förväntade livslängden har uppnåtts. På högtrafikerade vägar är antalet vanliga spricktyper relativt begränsat. I vissa fall kan dock ovanliga skador uppträda, vilket har observerats på delar E6 och E45 i Västra Götalands län. På dessa vägsträckor har sprickor utvecklats i hjulspåren, vilket är ovanligt för högtrafikerade vägar. Sprickor i hjulspåren initieras normalt i underkant av asfaltbeläggningen men eftersom högtrafikerade vägar vanligtvis dimensioneras med tjocka bitumenbundna lager är risken för denna typ av sprickbildning generellt låg. Det som gör detta särskilt anmärkningsvärt är att sprickorna har istället initierats i beläggningens ovankant i form av så kallade top-down sprickor. Denna typ av sprickbildning uppstår vanligtvis vid sidan av hjulspåret och inte direkt i hjulspåret, vilket gör skadorna på de aktuella vägsträckorna av särskilt intresse att undersöka.

Genom att undersöka hur olika parametrar i de bitumenbundna lagren kan påverka sprickbildning kan en ökad förståelse fås. Detta i syfte att undersöka vilka parametrar som påverkar sprickbildningen på delsträckorna på E45 och E6. Undersökning av parametrar på delsträckor i E45 och E6 som inte spricker genomförs också. Dessa delsträckor som ej spricker har fungerat som referenssträckor för att jämföras med.

Arbetets metod har främst bestått av att samla in ett omfattande datamaterial för samtliga delsträckor för att skapa en tydlig bakgrund och förståelse för deras uppbyggnad och förutsättningar. Underlag i form av byggritningar, kvalitetskontroller, arbetsrecept och annan dokumentation har sammanställts, analyserats och jämförts. Därutöver har nya borrhöjningar tagits från samtliga delsträckor och analyserats i laboratorium. Laboratorietesterna har bland annat gett information om mjukpunkt, bindemedelhalt och hållrumshalt. Resultaten har därefter jämförts med tidigare provningsresultat från tiden då vägarna byggdes.

Den okulära undersökningen av borrhöjningarna har gett indikationer på möjliga orsaker, även om dessa inte fullt ut kunnat bekräftas genom de utförda testerna. På de delsträckor där sprickbildning förekommer uppvisade borrhöjningarna en inhomogen struktur, ojämn fördelning av bindemedel samt torra och spröda egenskaper. För borrhöjningarna från E45 observerades dessutom att separation uppstod mellan slitlager och bindlager, vilket tyder på bristande vidhäftning mellan lagren på den aktuella delsträckan.

Skadorna har även medfört betydande ekonomiska konsekvenser. På de delsträckor där sprickbildning inte förekommer planerar Trafikverket att enbart byta ut slitlagret, medan de spruckna delsträckorna kräver utbyte av både bindlager och eventuellt delar av det bitumenbundna bärlagret.

Summary

High-traffic roads form an important part of the road transport system and therefore place high demands on both design and construction. These roads are normally designed for a service life of around 20 years, provided that applicable requirements and guidelines are followed. Despite this, various types of deformation and cracking can occur before the expected service life has been reached. On high-traffic roads, the number of common crack types is relatively limited. In some cases, however, unusual damage can occur, which has been observed on sections of the E45 and E6 in western Götaland County, Sweden. On these road sections, cracks have developed in the wheel tracks, which is unusual for high-traffic roads. What makes this particularly noteworthy is that the cracks have initiated at the top of the pavement surface in the form of so-called top-down cracks. This type of cracking normally occurs beside the wheel track rather than directly in it, which makes the damage on the relevant road sections especially interesting to investigate.

By examining how different parameters in the bituminous layers can affect crack formation, a greater understanding can be gained. This is aimed at identifying which parameters influence cracking on the subsections of the E45 and E6. An examination of parameters on subsections of the E45 and E6 that do not crack has also been carried out. These non-cracking subsections have served as reference sections for comparison.

The method used in this work has primarily consisted of collecting extensive data for all subsections in order to create a clear background and understanding of their composition and conditions. Material in the form of construction drawings, quality controls, mix designs and other documentation has been compiled and analyzed. In addition, new core samples have been taken from all subsections and analyzed in the laboratory. The laboratory tests have provided information on, among other things, softening point, binder content and air void content. The results have then been compared with earlier test results from when the roads were built.

The results from the core sampling have in several respects been unexpected. For example, some analyses have shown that the softening point of the binder in the binder course has decreased compared to earlier results, which is theoretically difficult to explain since bitumen normally becomes stiffer over time. The visual inspection of the cores has, however, given indications of possible causes, even though these could not be fully confirmed through the tests carried out. On the subsections where cracking occurs, the cores showed an inhomogeneous structure, uneven distribution of binder, and dry and brittle properties. For the cores from the E45, separation between the wearing course and the binder course was also observed, suggesting poor adhesion between the layers on that particular subsection. The damage has also led to considerable economic consequences. On the subsections where cracking does not occur, the Swedish Transport Administration plans to replace only the wearing course, while the cracked subsections require replacement of both the binder course and possibly parts of the AG layer.

Förkortningar och begrepp

ABb	Bindlager av asfaltbetong
ABS	Stenrik asfaltbetong
ABT	Tät asfaltbetong
AG	Asfaltgrus
Bottom-up spricka	En spricka som initieras i underkant av de bitumenbundna lagren till följd av dragtöjningar från trafikbelastningen.
DK	Dimensioneringsklass för vägöverbyggnad.
DSR	Dynamisk skjuvreometer – provningsmetod som används för att analysera de reologiska egenskaperna hos bitumen.
ITSR	Indirekt draghållfasthetsindex – ett mått på asfaltens vattenkänslighet.
Kohesion	Bindemedlets inre styrka och förmåga att hålla ihop.
Mastix	Blandning av bitumen och filler.
PMA	Polymermodifierad asfaltbetong.
PMB	Polymermodifierad bitumen.
Top-down spricka	En spricka som initieras vid beläggningens ovkant.
TSK	Tunnskiktsbeläggning – tunt och flexibel beläggning som oftast används som slitlager.
Vidhäftning	Bindningen mellan bitumen och sten.
ÅDT	Årsdygnstrafik – det genomsnittliga antalet fordon som passerar en punkt på en väg per dygn under ett år.
ÅDTk, just	Justerad ÅDT per körfält – används vid val av slitlager.
ÅDTk, tung	ÅDT för tunga fordon per körfält – används vid val av bindlager.

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Vägtrafiken dominerar transportsystemet i Sverige och står för cirka 81% av persontransportarbetet. Under 2024 utgjorde lastbilstrafiken cirka 67% av godstransportarbetet i Sverige (Trafikanalys, 2025). Detta innebär att belastningarna på det svenska vägnätet ställer höga krav på dimensioneringen av högtrafikerade vägar. Dessa vägar utformas för att kunna hantera tunga och upprepade laster. Vanligtvis dimensioneras dessa vägar utifrån lokala förutsättningar, det vill säga deras geografiska placering, områdets klimat och den förväntade trafikbelastningen (Trafikverket, 2023).

På högtrafikerade vägar är trafikbelastningen den ledande faktorn till nedbrytning hos vägen. Detta sker bland annat i form av sprickbildning. Traditionellt antas sprickor initieras i underkant av de bitumenbundna lagren till följd av dragtöjningar. Med tiden utvecklas sprickan och propagerar upp mot ytan, vilket benämns som bottom-up sprickor. Bottom-up sprickor visas tydligt i hjulspår där belastningarna är som störst (Agardh & Parhamifar, 2014).

Under senare tid har en ny skadetyper observerats, nämligen top-down sprickor. Dessa initieras oftast precis bredvid hjulspåret på grund av dragtöjningar i ovankant (Agardh & Parhamifar, 2014; Canestrari & Ingrassia, 2020). Många dimensioneringsprinciper utgår från att förebygga bottom-up sprickor och top-down sprickor är något som tas hänsyn till sekundärt. Ett sätt att minska risken för bottom-up sprickor är att öka tjockleken på beläggningen, vilket minskar dragtöjningarna i underkant. Samtidigt kan tjockare beläggningar vara mer benägna att utveckla top-down sprickor. Fenomenet är inte lika väl studerat som andra skademekanismer men kopplas bland annat till trafik, åldring och bindemedlets styvhet (Pavement Interactive, u.å).

Förekomsten av top-down sprickor i hjulspåren avviker från etablerad teori. Denna problematik har identifierats på utvalda delsträckor längs E6 och E45 i Västra Götaland. För respektive väg uppvisar en delsträcka top-down sprickor i hjulspår, medan motsvarande referenssträcka, trots liknande uppbyggnad och trafikbelastning, inte gör det. Detta kan betraktas som en form av onormal sprickbildning, då sprickorna uppstår i områden där de enligt etablerad teori inte förväntas initieras. Därmed kan detta innebära att denna typ av sprickbildning inte tas med fullt ut i dimensioneringen. Konsekvensen blir att nedbrytningen kan ske tidigare än förväntat, vilket leder till att underhållsåtgärder behöver utföras i ett tidigare skede. Detta medför i sin tur ökade och accelererade underhållskostnader jämfört med vad som antas vid dimensionering.

Mot denna bakgrund studeras skillnader i materialegenskaper och uppbyggnad i de bitumenbundna lagren mellan spruckna och ospruckna delsträckor för att identifiera avvikelser som kan förklara sprickbildningen.

1.2. Syfte och frågeställning

I detta examensarbete har två högtrafikerade delsträckor med onormal sprickbildning analyserats. Syftet har varit att identifiera vilka parametrar i de bitumenbundna lagren som bidrar till sprickbildning och därmed ökade underhållskostnader, genom jämförelse med referenssträckor utan sprickor. Detta leder fram till följande frågeställning som varit huvudfokus för arbetet.

- Vilka parametrar i de bitumenbundna lagren kan kopplas till den onormala sprickbildningen?

1.3. Metodik

Litteraturstudie

Litteraturstudien har utgjort en central del av detta examensarbete och har bidragit till en fördjupad förståelse av vägars uppbyggnad, relevanta parametrar i bitumenbundna lager samt sprickbildning på högtrafikerade vägar. Arbetet har baserats på en genomgång av tidigare forskningsrapporter, kravdokument, böcker och andra relevanta källor. Den insamlade kunskapen har skapat en stabil teoretisk grund, vilket möjliggjort en mer riktad och relevant analys av resultaten. De databaser som använts i studien är bland annat Lunds universitets biblioteks söktjänst Finn samt Google Scholar.

En litteraturstudie utgår från en tydligt formulerad frågeställning, vilken ligger till grund för urvalet av relevant material (Linnéuniversitetet, 2026). I denna studie har därför samtliga delar av litteraturstudien kopplats till den övergripande frågeställningen, med fokus på sprickbildning i högtrafikerade vägar. Den information som presenteras i litteraturstudien utgör sekundärdata, vilket innebär att materialet har samlats in och bearbetats av andra forskare. Detta ställer krav på en kritisk granskning av källorna. Bedömningen av materialets tillförlitlighet har främst baserats på utgivarens trovärdighet samt informationens aktualitet. Källor har inkluderats i studien när de bedömts vara tillförlitliga och när innehållet ansetts vara relevant och tillräckligt aktuellt.

Tillgängligt underlag från produktionen

Underlag och handlingar från beläggningsåren på de olika delsträckorna har sammanställts och analyserats. Dessa analyser utgör en omfattande del av detta examensarbete. Vidare har en jämförelse mellan spruckna delsträckor och ej spruckna delsträckor samt en jämförelse med ny borrhvtagning genomförts.

Provtagning av borrhvtagningar

Borrhvtagning av de olika delsträckorna har genomförts för analys av olika parametrar. Borrhvtagning genomförs även på referenssträckorna för en jämförelse med de spruckna

delsträckorna. Sammanställning och analys av provresultaten att redovisas och jämförs även med de provresultat från beläggningsåren.

1.4. Avgränsningar

Följande avgränsningar har gjorts:

- Delsträckorna avgränsas geografiskt till E6 i Norra Bohuslän och E45 mellan Göteborg och Trollhättan i Fyrbodalen, Västergötland.
- Studien omfattar utvalda delsträckor med sprickbildning samt referenssträckor utan sprickor för respektive väg. De studerade delsträckorna är Tanumshede–Knäms (sprucken) och Lugnet–Skee (referens) på E6 samt Sjuntorpsvägen–Göteborgsvägen (sprucken) och Stenröset–Sjuntorpsvägen (referens) på E45 och är förvalda av Trafikverket.
- Analysen fokuserar endast på de bitumenbundna lagren, det vill säga det bitumenbundna slitlagret, bindlagret och bärlagret. I det fortsatta arbetet syftar dessa benämningar alltid på de bitumenbundna lagren om inget annat anges.
- Arbetet baseras på arbetsrecept, kvalitetskontroller samt laboratorieprovning av borrhärdar. Laboratorieprovningen omfattar enbart analys av hållfasthet, bindemedelshalt, mjukpunkt, kornkurva, vattenkänslighet och tjocklek.
- Den ekonomiska delen av arbetet behandlas endast översiktligt genom koppling till sprickbildning och underhållsåtgärder. Någon fullständig ekonomisk analys ingår inte i arbetet.

1.5. Rapportens disposition

Rapporten utgår i stora drag utifrån följande disposition:

- **Litteraturstudie** om grundläggande vägkonstruktioner, sprickmekanismer och parametrar som kan kopplas till sprickbildning.
- **Objektbeskrivning** av de studerade delsträckorna och deras förutsättningar.
- **Metoder** som beskriver använda metoder och genomförd provtagning
- **Resultat** med data från tidigare kvalitetskontroller och nya borrprovtagningar.
- **Diskussion** där resultaten analyseras och kopplas till tidigare forskning och frågeställningar.
- **Slutsatser** där de viktigaste resultaten sammanfattas.
- **Referenslista** med källor som använts i arbetet.
- **Bilagor** med kompletterande underlag.

2. Litteraturstudie

2.1. Belastningar och yttre förutsättningar

2.1.1. Trafikbelastning

Vid dimensionering av vägöverbyggnader är trafikbelastningen en avgörande faktor som påverkar hur tjockt de olika lagren behöver vara. Trafikbelastningen anges oftast med hjälp av årsdygnstrafiken (ÅDT), som beskriver trafikmängden på ett vägvagnsnitt (Agardh & Parhamifar, 2014; Trafikverket, 2015).

Den trafik som bidrar mest till den strukturella nedbrytningen av de olika lagren på en vägkonstruktion är tunga fordon (bruttovikt >3,5 ton). Personbilar har en marginell påverkan på nedbrytningen av vägkonstruktionen men bidrar till ytslitage genom användning av dubbdäck (Agardh & Parhamifar, 2014). Nedbrytningen kopplas till antalet axellaster som vägen utsätts för. Eftersom vägen utsätts för många olika axellaster kan det jämföras med hjälp av fjärdepotensregeln (se ekvation 1).

$$N_{ekv} = N_i \cdot \left(\frac{P_i}{P} \right)^4 \quad (1)$$

där

N_{ekv} - Antal ekvivalenta standardaxlar [st]

N_i - Antal belastningar med axeltrycket P_i [st]

P_i - Aktuell axellast som ska räknas om till standardaxellast [ton]

P - Standardaxellast (10 ton enligt svenska normer) [ton]

Med hjälp av fjärdepotensregeln kan olika axellaster räknas om till en standardaxel. På så sätt kan trafikens belastning på vägen beskrivas och användas vid dimensionering av vägkonstruktioner. Högtrafikerade vägar utsätts för upprepade belastningar vilket leder till utmattnings i asfaltlagren. De upprepade belastningarna ger upphov till dragspänningar i underkant av asfaltlagret och tryckspänningar vid ytan. Över tid bryts materialet ner och leder till sprickor i hjulspåren (Varin & Saarenketo, 2014). Dessa kan med tiden uppträda som bottom-up sprickor eller top-down sprickor, vilka behandlas i avsnitt 2.5.

2.1.2. Dimensioneringsklass

Dimensioneringsklassen anger vilken metod som ska användas vid dimensionering av överbyggnaden. Trafikverket använder tre dimensioneringsklasser: DK1, DK2 och DK3.

Valet av dimensioneringsklass baseras främst på trafikbelastningen genom beräkning av antal ekvivalenta standardaxlar.

Dimensionering enligt DK1 utgår från en maximal trafikbelastning på 500 000 standardaxlar och baseras på standardiserade tabeller och metoder (Trafikverket, 2023). Utöver trafikbelastningen tar dimensioneringen hänsyn till faktorer som klimatzon, tjälfarlighetsklass och referenshastighet. Baserat på dessa förutsättningar anger tabellerna minsta lagertjocklekar för de olika lagren i överbyggnaden (Trafikverket, 2023).

Dimensionering enligt DK2 utgår från en empirisk/mekanistisk dimensionering (Trafikverket, 2023). Enligt Agardh & Parhamifar (2014) finns det tre olika dimensioneringsprinciper: empiriska, analytiska och analytisk-empiriska metoder. För DK2 används analytisk-empirisk dimensionering. Detta innebär att dimensioneringen består av en analytisk del där spänningar och töjningar i vägkonstruktionen beräknas och en empirisk del där dessa värden jämförs med tillåtna gränsvärden baserade på erfarenhetsbaserade samband.

Både DK1 och DK2 kan dimensioneras med hjälp av PMS-objekt från Trafikverket som är ett verktyg för analys och design av vägöverbyggnader. Programmet tar hänsyn till utmattningskriterier genom sprickor i underkant av asfaltlagren.

DK3 används när dimensioneringen baseras på metoder eller material som inte omfattas av DK1 eller DK2. Detta innebär avancerade mekanistiska modeller och laboratorieprovning (Trafikverket, 2023). Denna metod används vanligtvis när extremt höga trafikbelastningar förekommer. Till skillnad från DK1 och DK2 används inte PMS Objekt, utan istället mer avancerade beräkningsverktyg. Exempel på sådana modeller är ERAPave PP och PEDRO utvecklade vid VTI. Dessa modeller beräknar till exempel utveckling av spårbildning och utmattningsprickor baserat på specifika kriterier och förhållanden (VTI, 2026).

Dimensioneringsklassen styr därmed hur överbyggnaden utformas och de specifika krav som ställs. Om dimensioneringsklassen inte motsvarar den faktiska trafikbelastningen eller andra relevanta förutsättningar kan vägkonstruktionen bli underdimensionerad, vilket ökar risken för sprickbildning eller andra skademekanismer.

2.1.3. Klimat

Klimatet har stor inverkan på vägkonstruktionen och är en viktig faktor som måste beaktas. Eftersom klimatet varierar delas Sverige in i fem olika klimatzoner som används som grund för till exempel val av beläggning, se Figur 1. De centrala faktorerna relaterade till klimat som påverkar vägkonstruktioner är temperatur och vatten (Agardh & Parhamifar, 2014). Låga temperaturer kan ge upphov till interna termiska spänningar i

asfaltbeläggningen. När dessa spänningar överstiger asfaltmassans draghållfasthet kan lågtemperatursprickor uppstå, ofta i form av transversala sprickor som är vinkelräta mot vägens riktning (Buncher & Anderson, 2014). Agardh och Parahamifar (2014) beskriver att vid högre temperaturer blir asfaltbeläggningen mindre styv, vilket ökar risken för deformationer. Vid lägre temperaturer blir asfaltbeläggningen istället styvare, vilket ökar risken för sprickbildning.

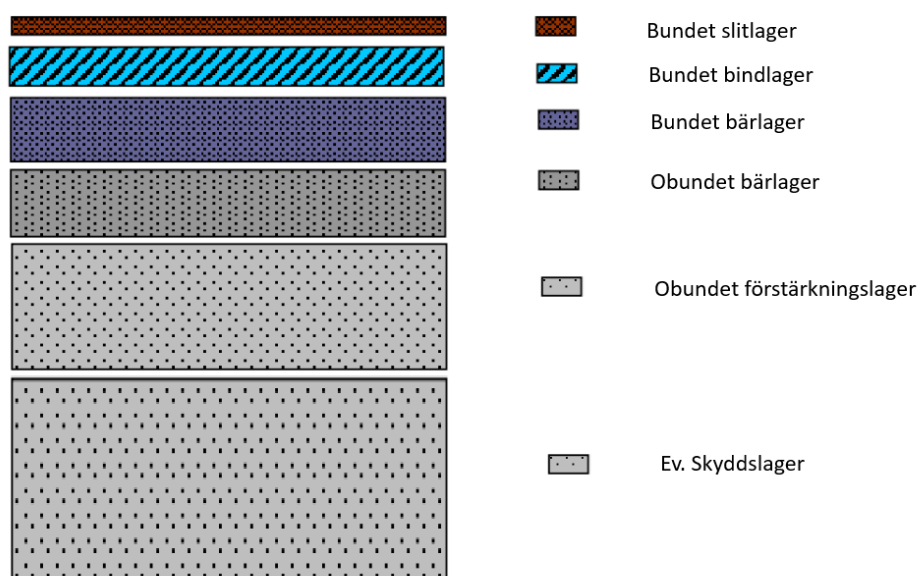


Figur 1: Uppdelning av klimatzoner i Sverige (Trafikverket, 2023)

En del i vägkonstruktionen är ett fungerande avvattningsystem som leder bort vatten från vägens lager. Om vatten blir kvar i konstruktionen kan bärigheten i de obundna lagren försämrats (Agardh & Parahamifar, 2014). Charlier et al. (2008) beskriver att tjocka vägkonstruktioner med bitumenbundna lager främst riskerar att drabbas av utmattningsprickor som uppstår på grund av höga dragspänningar i underkant av de bundna lagren. Även om dessa konstruktioner generellt ger upphov till lägre töjningar på grund av sin tjocklek, kan det stora antalet lastcykler på högtrafikerade vägar ändå leda till utmattningsprickor över tid. Om dessa sprickor utvecklas vidare kan de möjliggöra infiltration av vatten, vilket försämrar bärigheten i de underliggande lagren. När de underliggande lagren försvagas leder detta till försämrad lastfördelning i ovanliggande lager och därmed mindre förmåga att motstå belastningar. Detta ökar risken för fortsatt sprickbildning.

2.2. Vägöverbyggnader på högtrafikerade vägar

Vägöverbyggnader på högtrafikerade vägar består av flera lager som tillsammans ska fördela trafikbelastningen ner mot undergrunden. Uppbyggnaden kan variera beroende på vilken typ av överbyggnad som används. Grusbitumenöverbyggnad (GBÖ) är den vanligaste typen av vägöverbyggnad i Sverige (Agardh & Parhamifar, 2014). Den principiella uppbyggnaden av en sådan vägöverbyggnad som vanligtvis används på medel- och högtrafikerade vägar visas i Figur 2.



Figur 2: Principiell uppbyggnad av vägöverbyggnad. Adapterad från Trafikverket (2014).

2.2.1. Slitlager

Den översta delen i en vägöverbyggnad är slitlagret. Syftet med slitlagret är att ge körbanan sådana egenskaper som tillfredsställer krav på bland annat trafiksäkerhet och komfort. Slitlagret består vanligtvis av en varmblandad asfaltmassa som läggs ut vid hög temperatur. Den vanligaste typen av slitlager i Sverige är asfaltbetong tät (ABT) som i regel inte släpper igenom vatten (Agardh & Parhamifar, 2014). På högtrafikerade är ett av slitlagrets viktigaste egenskaper att skydda underliggande lager från vatteninfiltration. Lagret bör därför vara tillräckligt tätt för att kunna leda bort vattnet och tillräckligt beständigt för att undvika stenlossning (Trafikverket, 2014). Val av slitlager baseras på justerad årsdygnstrafik per körfält ($\text{ÅDT}_{k, \text{just}}$), där hänsyn tas till faktorer såsom andel dubbdäck, hastighet, körfältsbredd och vinterväghållning (Trafikverket, 1994). Detta värde används för att bestämma lämplig slitlagertyp. För högtrafikerade vägar är beläggningstyper som stenrik asfaltbetong (ABS) och tunnskiktsbeläggning (TSK) vanligt förekommande (Trafikverket, 2014).

ABS och TSK har båda god beständighet men skiljer sig främst i flexibilitet. ABS är styvare och bidrar mer till att fördela belastningar i konstruktionen men kan samtidigt ge upphov till högre dragspänningar och därmed en något högre risk för sprickbildning. TSK är mer flexibelt och har därmed lägre sprickbenägenhet men eftersom lagret är tunt bidrar det i mindre grad till spänningsfördelning (Trafikverket, 2014).

2.2.2. Bindlager

På högtrafikerade vägar läggs bindlagret som ett mellanskikt mellan slitlager och bärlager. Dess primära funktion är att överföra spänningar från trafikbelastningen till underliggande bärlager samtidigt som det bidrar till att jämna ut eventuella ojämnheter (Asfaltboken, 1999). För val av bindlager används årsdygnstrafiken av tunga fordon per körfält ($\text{ÅDT}_{k, tung}$). Om $\text{ÅDT}_{k, tung} \geq 250$ rekommenderas bindlager av asfaltbetong (ABb) (Trafikverket, 2014). ABb har flera goda egenskaper såsom bra deformationsresistens, styvhet, utmattningsmotstånd, beständighet och vattentäthet. Den relativt höga styvheten kan dock innebära minskad flexibilitet, vilket kan leda till att dragspänningar uppstår i konstruktionen. I kombination med styva bindemedel kan detta öka risken för sprickbildning (Trafikverket, 2014).

2.2.3. Bärlager

2.2.3.1. Bundet bärlager

Bärlagret har till uppgift att fördela belastningen från ovanliggande lager så att det inte uppstår för stora spänningar och deformationer i underliggande lager. På högtrafikerade vägar används oftast ett bundet och obundet bärlager. Det bitumenbundna bärlagret bör vara av hög kvalitet och tillräckligt stark för att motstå både deformationer och utmattning (Agardh & Parhamifar, 2014; Asfaltboken, 1999). Detta görs genom att dela det bundna bärlagret upp i två delar, där det övre lagret utförs med ett styvare bindemedel och det nedre lagret utförs med mjukare bindemedel för att öka flexibiliteten. Detta ger en bättre spänningsfördelning i underkant av konstruktionen samtidigt som den är tillräckligt styv i ovankant.

På högtrafikerade vägar används vanligtvis asfaltgrus (AG) som bärlager, eftersom den har god deformationsresistens, hög styvhet och ett bra utmattningsmotstånd (Trafikverket, 2014). Jämfört med andra typer av bärlager är AG bättre lämpat för vägar med mycket hög andel tung trafik eftersom den är tillräckligt styv för att hantera belastningarna (Trafikverket, 2011). ABb kan även användas som övre bärlager när höga krav ställs på täthet, eftersom den generellt har bättre egenskaper än AG. Däremot är AG billigare och används därför oftare (Trafikverket, 2014).

Bärlagret har således en viktig roll i att fördela lasten från ovanliggande lager till underliggande lager och behöver vara styvt för att hantera detta. Som en konsekvens av

denna styvhet får lagret sämre egenskaper vad gäller utmattning och är mer känslig för låg temperatursprickor (Trafikverket, 2014).

2.2.3.2. *Obundet bärlager*

Det obundna bärlagret kan utgöra en del av vägöverbyggnaden och består vanligtvis av krossat stenmaterial utan tillsatt bindemedel. Lagret har till uppgift att fördela belastningar från trafiken till underliggande lager samt bidra till vägkonstruktionens bärighet. För att uppfylla dessa funktioner behöver materialet ha god dräneringsförmåga och vara motståndskraftigt mot nedbrytning (Trafikverket, 2005; Agardh & Parhamifar, 2014).

2.2.4. Förstärkningslager

Förstärkningslagret är ett av de sista lagren och fördelar lasten från ovanliggande lager till undergrunden. Det består av krossat grovt stenmaterial och ska fungera som ett dräneringslager och leda bort vatten till vägens avvattningssystem (Agardh & Parhamifar, 2014; Asfaltboken, 1999).

2.2.5. Skyddslager

Ett skyddslager kan i vissa fall läggas mellan undergrunden och förstärkningslagret, särskilt om undergrunden består av tjälfarligt material eller är finkornig (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.3. Materialparametrar i de bitumenbundna lagren

2.3.1. Bindemedel

Bindemedel i asfaltbeläggningar avser i regel bitumen, vilket är det material som binder samman stenmaterialet (Agardh och Parhamifar, 2014). Val av rätt bindemedelstyp är en avgörande parameter som påverkar asfaltsbeläggningsens egenskaper. Trafikverket ställer krav på fem huvudtyper av bitumen som används som bindemedel: penetrationsbestämda bitumen, polymermodifierad bitumen (PMB), viskositetsbitumen, bitumenemulsioner och bitumenlösning (Trafikverket, 2020a). På motorvägar används i huvudsak penetrationsbestämda bitumen och PMB och övriga bindemedelstyper behandlas därför inte vidare i detta arbete.

2.3.1.1. *Penetrationsbestämda bitumen*

Denna typ av bitumen är mycket vanlig och används i de flesta varma asfaltbeläggningar. Penetrationsbestämda bitumen klassas efter penetrationsvärdet vid 25°C och värdet är baserat på den intervall som en standardiserad nål sjunker i ett förtillverkad bitumenprov under givna betingelser (Asfaltboken, 1999). Penetrationsbestämda bitumen betecknas i formen xx/yy, där xx och yy anger det undre respektive övre gränsvärdet för penetration,

uttryckt i 0,1 mm. Exempelvis är 70 det nedre gränsvärdet och 100 det övre gränsvärdet i en 70/100 bitumen. De klasser som förekommer i Sverige och som Trafikverket ställer krav på visas i Tabell 1 (Trafikverket, 2020a).

Tabell 1: Utvalda specifikationskrav för penetrationsbestämda bitumen. Källa: Trafikverket (2020a).

Egenskap	Bindemedelstyper				
	50/70	70/100	100/150	160/220	330/430
Penetration vid 25°C (0,1 mm)	50–70	70–100	100–150	160–220	330–430
Dynamisk viskositet 60°C (Pa·s)	≥145	≥90	≥55	≥30	≥12
Brytpunkt Fraass (°C)	≤ −8	≤ −10	≤ −12	≤ −15	≤ −18
Bibehållen penetration (°C)	≥50	≥46	≥43	≥37	NR
Mjukpunktsökning (°C)	≤9	≤9	≤10	≤11	NR

Penetrationstalet är en beteckning på hur hård eller mjukt ett bitumenbaserat bindemedel är. Ett lägre värde motsvarar en hårdare bindemedel medan ett högre värde motsvarar en mjukare bindemedel. Ju hårdare bindemedlet är desto styvare blir asfaltbeläggningen (Buncher et al., 2025). Asfaltsbeläggningens styvhet har stor betydelse för sprickbildning (Read & Whiteoak, 2003). Vidare menar Read & Whiteoak (2003) att risken för lågtemperatursprickor ökar med ökande styvhet hos bitumen. Eftersom klimatförhållandena har stor inverkan på valet av bindemedelstyp är det fördelaktigt att använda ett mjukare bindemedel i kallare klimat för att minska sprickbenägenheten (Asfaltboken, 1999). Samtidigt krävs en noggrann avvägning, då mjukare bindemedel generellt är mer känsliga för permanent deformation. Val av bindemedelstyp görs i enlighet med Trafikverkets krav och råd för det statliga vägnätet utifrån klimatzon och andel tung trafik (Trafikverket, 2011). Högre andel tung trafik och varmare klimat kräver styvare bindemedel för att motstå permanent deformation, medan kallare klimat kräver mjukare bindemedel för att minska risken för sprickbildning.

Ett sätt att undersöka bitumenets brytpunkt är genom Fraass-testet. Testet bestämmer den temperatur vid vilken ett tunt bitumenskikt går till brott vid kontrollerad böjning (Trafikverket, 2014). Fraass brytpunkt motsvarar därmed den lägsta temperatur då bindemedlet uppnår en kritisk styvhet och blir sprött. Lägre brytpunktstemperatur indikerar bättre lågtemperaturrestans. För att beskriva bindemedlets beteende vid högre temperaturer används istället dynamisk viskositet. Denna parameter, som anges i Pa·s, är ett mått på bindemedlets motstånd mot deformation. Den anger hur stor skjuvspänning som krävs för att få materialet att deformeras med en viss hastighet (Asfaltboken, 1999). Lägre penetrationsklasser har högre dynamisk viskositet, vilket innebär större motstånd mot permanent deformation. Samtidig har de en högre brytpunktstemperatur, vilket indikerar ökad sprickbenägenhet (Asfaltboken, 1999).

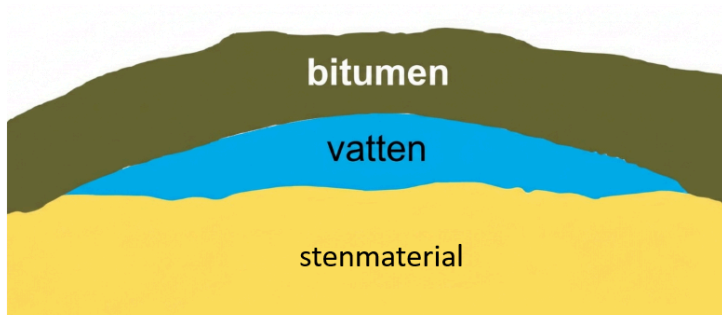
Penetrationsklassningen endast beskriver bindemedlets konsistens under givna provningsförhållanden och inte nödvändigtvis dess benägenhet för sprickbildning eller andra egenskaper (Read & Whiteoak, 2003). Egenskaper hos bitumen består av reologi, kohesion, vidhäftning och åldersbeständighet (Asfaltboken, 1999; Read & Whiteoak, 2003).

2.3.1.2. Reologi, kohesion och vidhäftning

Reologi beskriver bitumenets deformation och beteende under inverkan av temperatur, tid och mekanisk belastning. Bitumen beskrivs som ett typiskt termoplastiskt material, vilket innebär att det mjuknar vid uppvärmning och hårdnar vid kyla (Asfaltboken, 1999). På grund av detta är reologi avgörande för att förutsäga asfaltens tillstånd.

Kohesion kan förenklat beskrivas som den inre styrkan hos bindemedlet (Federal Highway Administration, u.å.). Bitumenmolekyler dras till varandra genom intermolekylära krafter vilket gör att materialet håller ihop. Tillräckligt hög kohesion gör att bindemedlet kan överföra dragspänningar i beläggningen, vilket antas öka motståndet mot sprickbildning och utmattnings, (Błażejowski et al., 2024). Kohesion kan mätas genom duktilitet, vilket är ett mått på hur långt ett standardiserad bitumenprov kan dras ut under givna betingelser, innan det brister. Goda kohesioneenskaper innebär stark sammanhållning och visar sig genom hög duktilitet (Asfaltboken, 1999).

Vidhäftning beskriver bindningen mellan bitumen och sten och är en avgörande faktor för asfaltbeläggningens beständighet. Om vidhäftningsegenskaperna är bristfälliga kan vatten och fukt som tränger in i konstruktionen göra att bindemedlet lossnar från stenmaterialet (Nouryon, 2022). Bitumen är svagt polärt och hydrofobt, medan vatten är polärt. Många silikatrika stenmaterial har negativt laddade ytor vilket kan innebära att vatten har större dragningskraft till stenytan än bitumen. Detta ökar risken att vatten når gränsytan mellan bitumen och sten och successivt tränger undan bindemedlet, vilket i sin tur leder till vidhäftningsbrott, se Figur 3 (Nouryon, 2022; Pstrowska et al., 2022). Vidhäftning fördelas ofta mellan aktiv och passiv vidhäftning. Aktiv vidhäftning avser bindemedlets förmåga att tränga undan vatten vid blandning, medan passiv vidhäftning beskriver dess motstånd mot vatteninträngning under beläggningens livslängd (Nouryon, 2022). För långsiktig funktion är den passiva vidhäftningen av särskilt betydelse.



Figur 3: Vidhäftningsbrott mellan sten och bindemedel på grund av vatteninfiltration. Adapterad från Rossi et al. (2017).

En studie av Wang et al. (2014) undersökte hur sprickor uppstår och utvecklas i asfalt på mikronivå. Resultaten visar att sprickbildning ofta börjar i bindemedlet och därefter sprider sig vidare mot gränsytan mellan bindemedel och sten. När belastningen ökar kopplas de samman och till slut blir vidhäftningsbrott den dominerande brottmekanismen. Dessa sprickor uppstår ofta där spänningarna är som högst, till exempel vid vassa kanter på stenmaterialet.

Dessa egenskaper används för att välja ett bindemedel som fungerar under aktuella klimat- och trafikförhållanden.

2.3.1.3. Åldring

Med tiden påverkas asfaltbeläggningen av syre, UV-strålning och temperaturvariationer. Vid åldring oxiderar bindemedlet, vilket leder till att penetrationen minskar, samtidigt som mjukpunkten ökar. Som följd av detta hårdnar bindemedlet och får en högre viskositet, vilket bidrar till att materialet blir styvare och mer sprött. (Asfaltboken, 1999; Trafikverket, 2014). Åldring kan delas in i korttids- och långtidsåldring. Korttidsåldring sker främst vid tillverkningen av asfaltmassan där bindemedlet utsätts för hög temperatur i kontakt med luft i asfaltblandaren. En ökning av blandningstemperaturen med 10°C leder till en ökning på 1,3°C på mjukpunkten (Asfaltboken, 1999). Förändring i mjukpunkten efter upphettning kan därför vara en indikator för att avgöra om bindemedlet har oxiderat. Eftersom viskositeten ändras med temperaturen är det viktigt att hitta en bra balans när asfalten blandas. För lågt temperatur leder till hög viskositet och det leder till dålig täckning av stenarna. För högt temperatur leder till låg viskositet vilket leder till bra täckning av stenarna men medför i sin tur kraftig oxidation av bitumenet (Asfaltboken, 1999).

Detta innebär att ett åldrat bindemedel blir styvare och sprödare, vilket ökar risken för lågtemperatur- och utmattningssprickor.

2.3.1.4. Polymermodifierad bitumen

Ett sätt att förbättra egenskaper hos bitumen är genom modifiering med polymerer, så kallat polymermodifierad bitumen (PMB). Vanligtvis har PMB bättre

lågtemperaturegenskaper samt en styvhetsförbättring som ger större motstånd mot spårbildning. Valet av polymer beror på vilket resultat som eftersträvas hos asfaltbeläggningen (Asfaltboken, 1999). PMB kan förbättra asfaltbeläggningens prestanda genom två huvudmekanismer:

1. Öka styvheten → minska total deformation.
2. Öka den elastiska andelen → minska permanent deformation.

Att öka den elastiska andelen är av särskilt betydelse för att motverka sprickbildning, eftersom högre elasticitet i bindemedlet medför större flexibilitet i asfaltbeläggningen, vilket kan vara gynnsamt när den utsätts för höga dragspänningar och upprepade laster som medför utmattningsprickor (Read & Whiteoak, 2003).

Polymerer brukar delas in i elastomer och plastomerer. Elastomerer ökar de elastiska egenskaperna medan plastomerer ökar styvheten. För att det ska ske en god modifiering krävs det att de polymerer som tillsätts är kompatibla med bitumenet. Icke kompatibla polymerer separeras från bitumen (Asfaltboken, 1999). Kompatibiliteten mellan polymerer och bitumen avgörs av hur väl polymererna egenskaper överensstämmer med bitumenets kemiska uppsättning. Om skillnaderna är för stora kan de separera sig och ge sämre egenskaper (Yang et al., 2024).

2.3.2. Hålrum i asfaltbeläggningar

En asfaltbeläggning består av ballast, bitumen, luft och eventuella tillsatser. Hålrum utgör det luftutrymme som finns mellan ballast som är täckta med bitumen (Buncher et al., 2025). Dessa luftporer utgör en del av totalvolymen och är en avgörande parameter som påverkar både beständighet och stabilitet. För låg hålrumshalt kan leda till instabilitet medan för hög hålrumshalt kan öka permeabiliteten (Abdullah et al., 1998). Ökad permeabilitet leder till inträngning av vatten och syre som påskyndar bindemedlets oxidation vilket i sin tur leder till ökad styvhet och minskad flexibilitet. Om hålrumshalten är för låg kan detta leda till spårbildning, vågbildning eller blödning (Buncher & Anderson, 2014).

Hålrummet hos en borrhärd eller en packad provkropp bestäms genom att ta skillnaden mellan kompaktdensiteten och skrymdensiteten, dividerad med kompaktdensiteten och därefter multiplicerat med 100 för att få hålrumshalt i procent (Vägen till vägen, 2023).

Hålrumshalten påverkas av mängden bindemedelshalt, ballastens kornfördelning och packningsgraden (Buncher & Anderson, 2014). Bindemedelshalt och kornfördelning fastställs i proportioneringen och bestämmer massans teoretiska hålrumsstruktur, medan packningsgraden är ett resultat av ingående parametrar i massan i kombination med utförandet i fält. Packningsgraden bestäms i sin tur av faktorer såsom största stenstorlek i

relation till lagertjocklek, temperatur och avsvalningsförlopp, kornform samt bindemedelstyp (Asfaltboken, 1999). En hög hålrums halt kan därmed leda till ökad vatteninträngning och oxidation, vilket gör beläggningen styvare och ökar risken för sprickbildning.

2.3.2.1. Faktorer som påverkar hålrum

Grövre graderingar ger generellt högre hålrums halt och mer porösa blandningar, medan tätare graderingar ger lägre hålrums halt. Själva typen och formen på stenarna påverkar även hur strukturen packas. Rundade stenar kan packas lättare och ger därför större minskning av hålrum. Kantiga stenar packas inte lika lätt vilket gör att hålrummen minskar mindre (Abdullah et al., 1998). Detta innebär att två asfaltblandningar med samma bindemedelshalt och samma gradering kan få olika hålrum beroende på stenens form och ytstruktur.

Hur fort massan svalnar styr hur länge den kan packas effektivt. När temperaturen minskar blir bindemedlet styvare och det blir svårare att packa beläggningen. Massans temperatur är därför en viktig faktor att ta hänsyn och något som påverkar det slutgiltiga resultatet. De faktorer som påverkar avsvalningsförloppet kan vara för tunn lagertjocklek, kallt underlag och väderförhållanden (Asfaltboken 1999).

2.3.2.2. Bindemedelshalt och bindemedelstyp

Mängden bindemedel är en faktor som påverkar hur mycket utrymme det finns mellan stenmaterialet i asfaltmassan. När bindemedelshalten är låg innebär det också mindre bindemedel som kan fylla tomrummen. Detta innebär att stenarna ligger direkt mot varandra och packningen blir betydligt svårare. Konsekvensen av detta är allt fler luftporer och större tomrum som inte fylls vilket leder till en beläggning med högre hålrums halt som är mer benägen för inträngning av luft och vatten (John et al., 2021). Däremot, om bindemedelshalten är högre, minskar denna tomrum och fler stenar täcks av bindemedlet. Vid utläggning, när temperaturen av massan är relativt hög, kommer bindemedlet fungera som ett smörjmedel och det kommer att vara lättare att packa. På så sätt innebär det en tätare beläggning med mindre hålrums halt (Asfaltboken, 1999).

Trafikverket (2020a) ställer krav på minsta bindemedelshalt för olika typer av asfaltmassor. Kraven varierar mellan slitlager, bindlager och bundet bärlager samt beroende på största stenstorlek i massan. Massor med mindre stenstorlek och mer fyller kräver normalt högre bindemedelshalt eftersom den totala ytan hos stenmaterialet är större och därmed kräver mer bindemedel för att täcka. För låg bindemedelshalt kan leda till hög hålrums halt, vilket ökar risken för sprickbildning.

En experimentell studie visade att en liten ökning av bindemedelshalten, än den som erhålls av tex Marshallmetoden, kan förbättra asfaltens sprickmotstånd, då bättre täckning av stenmaterialet ger ökad kohesion och vidhäftning i asfaltmassan (Bastidas-Martínez & Rondón-Quintana, 2024). Detta menar också Yan et al. (2023) som i en studie visade att

fördelningen mellan bindemedel spelar stor roll. Ett jämnt fördelat bindemedel fungerar som ett bra klister och ger bättre motstånd mot sprickor, medan ett ojämnt och tunt skikt av bindemedel leder till att vissa ytor blir torra och styva.

Bindemedelstypen påverkar hur länge massan förblir packningsbar under avsvälningen. Styvare bindemedel når tidigare en temperatur där viskositeten är så pass hög att ytterligare vältning ger minimal packning (Asfaltboken, 1999). Krav på hålrums halt i färdig asfaltmassa presenteras nedan i Tabell 2.

Tabell 2: Toleranser för hålrums halt i färdigt lager av asfaltmassa. Källa: Trafikverket (2020a).

Beläggningstyp	Godkänt intervall i vol-%
Asfaltbetong stenrik (ABS)	1,5-5,0
Asfaltbetong tät (ABT)	1,5-5,0
Asfaltbetong bindlager (ABb)	2,0-6,0
Asfaltgrus (AG)	3,0-8,0

2.3.3. Stenmaterial

2.3.3.1. Kornstorleksfördelning och kornkurva

Kornstorleksfördelning i asfalt, även kallad gradering, innebär hur stor andel av olika stenstorlekar som ingår i asfaltmassan. För att visa denna fördelning används en kornkurva som tas fram genom siktanalys. Siktanalysen visar hur stor procent av stenarna som passerar olika siktstorlekar. På så sätt kan materialets grovhet definieras. Kornfördelningen påverkar hur stenmaterialet packas, hur stora hålrummen blir och hur mycket bindemedel som krävs i asfaltmassan (MCA, 2012).

För att uppnå en god och kontrollerad hålrums halt krävs en tät graderad kornkurva, där fraktioner från filler upp till största nominella stenstorlek samverkar (Asfaltboken, 1999). Detta möjliggör god packning med balanserad styvhet och låg permeabilitet.

2.3.3.2. Ballastens form och struktur

Hur stenen är formad samt dess textur är en faktor som påverkar asfaltbeläggnings olika egenskaper (Buncher et al., 2025). På högtrafikerade vägar ställs krav på god friktion och för att uppnå detta har stenmaterialets form och struktur stor betydelse (Buncher et al., 2025). Det är viktigt att ha en god balans mellan formen eftersom stenfraktioner som är alltför flisiga och kantiga lättare kan krossas vid packning (Asfaltboken, 1999). Detta kommer att reducera kvaliteten av beläggningen avsevärt (Asfaltboken, 1999). Dessa egenskaper regleras av Trafikverket där det ställs krav på bland annat flisighetsindex, krossytegrad och stenens hårdhet.

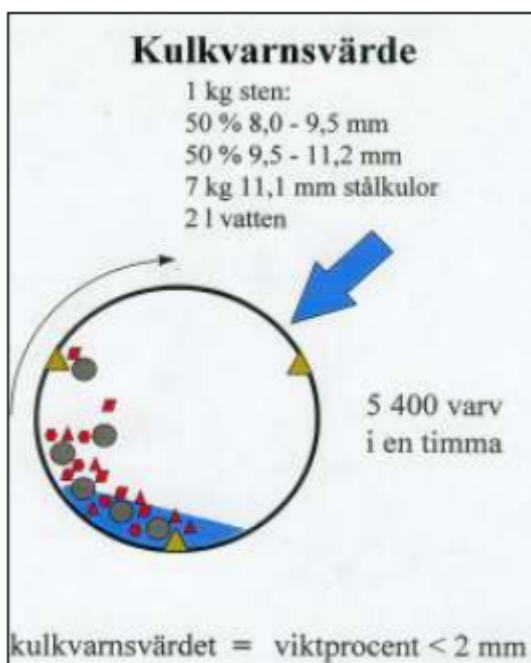
2.3.3.3. *Stentyp*

På högtrafikerade vägar ska slitlagret vara slitstarkt för att motstå bland annat slitage från dubbdäckstrafiken. För att uppnå detta används slitstarka stentyper som kvartsiter och porfyrrer. Dessa silikatrika stentyper har en hög halt av kiselsyra och klassificeras därför som sura bergarter. Ur vägtekniskt perspektiv har sura stentyper sämre vidhäftningsegenskaper, vilket innebär att de är mer känsliga för vatteninträngning och vidhäftningsbrott. För att säkerställa tillräcklig vidhäftning i asfaltmassan tillsätts vidhäftningsmedel för att motverka vattenkänslighet och minska risken för vidhäftningsbrott (Asfaltboken, 1999).

Både porfyrrer och kvartsiter är speciella stenmaterial som blandas med ortens stenmaterial för att uppnå en slitstark sammansättning i slitlagret. Trots detta finns det skillnader i hur effektivt de bidrar till slitstyrkan. Studier visar att cirka 30% inblandning av porfyr kan ge en motsvarande effekt som 50% inblandning av kvartsit (Höbeda, 1993). Dessa stentyper brukar i regel vara släta vilket minskar den mekaniska låsningen. Det är alltså en kombination av den kemiska uppsättningen samt ytstrukturen hos sura stenar som bidrar till försämrade vidhäftning (Höbeda, 1995). Kvartsit är en stentyp som vanligtvis används i södra Sverige. I många fall har slitlagerbeläggningar med kvartsit fungerat bra men i vissa fall uppvisat vidhäftningsproblem, främst i beläggningar med högt hålrum. Risken för vidhäftningsskador är stor om vatten lyckas tränga in i konstruktionen (Jacobson, 1996).

2.3.3.4. *Ballastens egenskaper*

Nötningsresistensen hos ett material bestäms i hög grad av stenmaterialets egenskaper. Dessa nötningsegenskaper kan utvärderas med olika provningsmetoder, där kulkvarnsvärdet är en vanligt förekommande indikator. Värdet fastställs genom en laboratorieprovning där stenmaterialet placeras i en kulkvarn tillsammans med stålkulor och vatten, varefter kvarnen roteras med hög hastighet, se Figur 4. Kulkvarnsvärdet definieras som den viktprocent av materialet som efter genomförd provning understiger 2 mm. Ett lågt kulkvarnsvärde indikerar hög nötningsresistens (Trafikverket, 2014).



Figur 4: Standard kulkvarnsprov. Källa: Trafikverket (2014).

Kraven på kulkvarnsvärdet för en asfaltmassa varierar beroende på flera faktorer. De bestäms bland annat av vägens ÅDT, av vilket skikt i konstruktionen som avses, exempelvis slitlager eller bindlager, samt av vilken typ av asfalt som används, se Tabell 3.

Tabell 3: Krav enligt Trafikverket vid användning av ABS som slitlager (Trafikverket, 2020a).

Egenskaper	ÅDT _{k, just}			
	≤500–1500	1501–3500	3501–7000	>7000
Flisighetsindex, FI < 8 mm	≤25	≤25	≤20	≤20
Flisighetsindex, FI > 8 mm	≤20	≤20	≤25	≤15
Krossytegrad, C	C _{50/10}	C _{50/10}	C _{50/10}	C _{50/10}
Kulkvarnsvärde, A _N	≤14	≤10	≤7	≤7
Los Angelesvärde, LA	≤25	≤25	≤25	≤20

För bindlager är det mer vanligt med ett Micro-Deval test. Beroende på ÅDT för tung trafik kan kravet skilja sig, se Tabell 4.

Tabell 4: Krav på Micro-Devalvärde för bindlager av typen ABb (Trafikverket, 2020a).

Egenskaper	$\dot{A}DT_{k, tung}$			
	<500	501–1000	1001–2000	>2000
Flisighetsindex, FI < 8 mm	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25
Flisighetsindex, FI > 8 mm	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Krossytegrad, C	$C_{90/1}$	$C_{90/1}$	$C_{90/1}$	$C_{90/1}$
Micro-Devalvärde, M_{DE}	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 10
Los Angelesvärde, LA	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25

För vägar med lägre trafikflöde medges ett högre kulkvarnsvärde. För andra typer av slitlager som exempelvis ABT eller ABD gäller motsvarande krav på kulkvarnsvärdet (Trafikverket, 2020a).

Micro-Deval är ett annat mått som används för att bedöma nötningsresistensen hos stenmaterial. Metoden liknar kulkvarnsprovningen men kulkvarnsmetoden innebär en mer krävande påverkan på materialet. Av den anledningen används kulkvarnsmetoden främst för det lager som utsätts för störst nötning från dubbdäck, det vill säga slitlagret. Micro-Deval används istället för bärlager, bindlager och justeringslager, eftersom slitlagret kräver strängare egenskaper avseende nötningsresistens. Samtidigt förekommer det att kulkvarnsmetoden även tillämpas på andra lager än slitlagret, exempelvis bindlagret (Trafikverket, 2014).

Micro Devalvärdet kan anges till upp till 15 när $\dot{A}DT$ för tung trafik är högst 2000 fordon per dygn. Vid trafiknivåer över 2000 fordon per dygn skärps kravet till högst 10. För bindlager av typen ABT är kravet på Micro Devalvärdet högst 15 oberoende av $\dot{A}DT$ för tung trafik. Motsvarande krav gäller även för AG som bärlager (Trafikverket, 2020a).

2.3.3.5. Filler

Enligt SS-EN 13043 (2003) är filler den finaste delen av stenmaterialet och består av partiklar som är mindre än 0,063 mm. Filler består av mycket fint mineraliskt material, exempelvis stenmjöl, slaggstoft, flygaska eller hydratiserad kalk (Speight, 2016). Beroende på mängd och typ kan filler ge en förstyvande effekt i asfaltmassan som ökar motståndet mot plastiska deformationer vid höga temperaturer. Vid tillsättning av mycket fin filler kan bitumen delvis extendera. Detta innebär att de mycket fina fillerpartiklarna blandas med bitumen och sprids i bindemedlet (mastix), vilket gör att massan kan uppföra sig som om den innehåller mer bindemedel än vad bitumenhalten egentligen är. I vissa fall kan detta möjliggöra en något lägre bitumenhalt. Om fillerhalten blir för hög kan massan bli för torr, svår att lägga ut samt mer spröd och sprickbenägen (Höbeda, 1994). Detta stöds även av Buncher & Anderson (2014) som anger att en hög fillerhalt kan leda till en torr och instabil asfaltmassa, medan för låg fillerhalt kan resultera i en massa som är för rik på bindemedel. En för hög bindemedelshalt gör massan mjuk och instabil, vilket ökar risken för

spårbildning och blödning. Det kan minska sprickor till en början men när deformationer utvecklas och strukturen blir svagare ökar risken för sprickbildning på sikt.

2.3.4. Tillsatsmedel

Tillsatsmedel används för att förbättra specifika egenskaper hos bindemedlet, asfaltmassan, eller den färdiga beläggningen. Exempel på tillsatsmedel är fibrer, polymerer och vidhäftningsmedel (Asfaltboken, 1999). Vissa typer av vax kan också tillsättas för att förändra olika egenskaper.

2.3.4.1. Fibrer

Syftet med användningen av fibrer är att stabilisera asfaltmassan och förhindra bindemedelsavrinning. Det fungerar som mikroarmering som höjer bindemedlets kohesion och bidrar till en mer stabil struktur. De vanligaste typerna av fibrer är cellulosafiber eller mineralfiber och kan tillsättas som pellets eller i lösvikt (Asfaltboken, 1999).

En studie av Aljubory et al. (2021) undersökte hur olika halter av cellulosafibrer, tillsatta genom torr respektive våt inblandning, påverkar asfaltmassans mekaniska och volumetriska egenskaper. Resultaten visade att tillsats av cellulosafibrer i flera fall förbättrade de mekaniska egenskaperna, genom till exempel ökad indirekt draghållfasthet, vilket indikerar bättre motstånd mot sprickbildning. Däremot observerades stora variationer i resultaten beroende på fiberhalten, inblandningsmetod och ballasttyp. På grund av detta kunde inte en optimal fiberhalt fastställas vilket tyder på komplexiteten när det gäller tillsättning av fibrer. En annan studie beskrev också komplexiteten av optimal fiberhalt och konstaterade att det beror på fibertyp, storlek, stenmaterial och storlek samt bindemedelstyp och halt. Resultaten från studien kom fram till 0,35-0,8% fiberhalt (Aljubory et al., 2021).

Weise och Zeissler (2016) visar att tillsats av fibrer gör att asfalt klarar fler belastningar innan sprickor uppstår, vilket innebär ett ökat utmattningsmotstånd. Fibrerna bidrar därmed till att både fördröja när sprickor bildas och hur de utvecklas vidare i materialet. Effekten är tydligast i bärlager, medan den är mer begränsad i slitlager, vilket innebär att effekten varierar beroende på var i konstruktionen de används.

2.3.4.2. Polymerer

Polymerer kan även tillsättas direkt i asfaltmassan vid tillverkning, exempelvis i form av plast eller gummi (Asfaltboken, 1999). Till skillnad från PMB där modifieringen sker i bindemedlet. Denna sorts produkt brukar kallas för polymermodifierad asfaltbetong (PMA). För att polymeren ska fungera krävs att den blandas in jämnt i asfaltmassan. Om inblandningen inte fungerar eller om mängden är för låg bildas inget sammanhängande nätverk, vilket gör att polymeren inte utnyttjas fullt ut utan istället fungerar mer som ett

fyllnadsmaterial. Olika typer av polymerer ger olika egenskaper. Elastomerer ger mer elastiska egenskaper, medan termoplaster främst bidrar till ökad stabilitet (Asfaltboken, 1999).

2.3.4.3. Vidhäftningsmedel

Vidhäftningsegenskaper är avgörande men i praktiken är det inte alltid möjligt att uppnå tillräcklig god bindning mellan bitumen och stenmaterial. Särskilt vid fuktiga förhållanden eller vid användning av fuktiga och silikatrika stenmaterial. I dessa fall tillsätts vidhäftningsmedel, exempelvis cement eller kalk, för att säkerställa tillräcklig bindning i asfaltmassan. Tillsatsen används därför som en säkerhetsåtgärd för att motverka vattenkänslighet och säkerställa att asfaltmassan uppnår tillräcklig beständighet över tid (Asfaltboken, 1999).

Tillsättning av till exempel släckt kalk kan förbättra asfaltens motstånd mot sprickbildning genom att öka dess utmattningslivslängd och motstånd mot mikrosprickor. Detta innebär att sprickor både initieras senare och utvecklas långsammare. Släckt kalk kan även motverka negativa effekter av åldring och fukt, vilket bevarar asfaltbeläggningens motstånd mot sprickbildning över tid. Däremot kan för höga halter leda till ökad sprödhet, vilket istället kan öka risken för sprickbildning (Aragão et al., 2010; Zou et al., 2013). I Sverige tillsätts normalt 1-2% av massans vikt (Andersson et al., 2004).

Utöver mineraliska vidhäftningsmedel, som är i pulverform, används också kemiska vidhäftningsmedel som är i flytande form (Asfaltboken, 1999). Kemiska vidhäftningsmedel har visat god effekt i laboratieförsök men deras effektivitet kan minska vid verkliga produktionsförhållanden, särskilt vid långvarig uppvärmning i asfaltverk. Detta kan leda till ökad fuktkänslighet i asfaltmassan och därmed indirekt öka risken för sprickbildning. Resultaten indikerar att effekten av dessa tillsatser är starkt beroende av produktionsförhållanden och inte enbart av tillsatt mängd (Hesami & Mehdizadeh, 2017). Normalt tillsätts 0,2-1,5% av bindemedlets vikt (Andersson et al., 2004).

2.3.4.4. Vax

Upphettnings av asfaltmassa leder till utsläpp av växthusgaser och ju högre temperatur desto mer utsläpp. För att motverka detta kan olika vaxtyper tillsättas vilket sänker viskositeten och ger en lättare bearbetad asfaltmassa. Syftet är att kunna minska upphettningstemperaturen utan att förlora asfaltmassan bearbetbarhet (Edwards & Isacson, 2008).

Vid lägre temperatur stelnar vaxet, vilket ger en förstyvande effekt i bindemedlet. Detta kan öka motståndet mot permanent deformation. Den förbättrade bearbetbarheten kan också ge bättre packning och därmed lägre hålrums halt, vilket i sin tur kan öka beläggningens beständighet. Däremot kan förstyvningen av vaxet vid lägre temperaturer

öka sprickbenägenheten eftersom materialet kan bli mer sprött. Effekten beror således på bindemedlets sammansättning samt typ och mängd av vax (Edwards & Isacson, 2008).

Detta stöds även av en studie om vaxbaserade tillsatser, där det framgår att vax generellt minskar penetrationstalet och ökar mjukpunkten, vilket indikerar en ökad styvhet. Samtidigt minskar duktiliteten, vilket innebär att bindemedlets förmåga att ta upp töjningar försämras. Detta indikerar att vax kan ge en styvare asfalt med bättre motstånd mot deformation men samtidigt en ökad risk för sprickbildning. Effekterna varierar dock beroende på typ av vax och bindemedel (Sahan et al., 2023).

Tillsatsmedel påverkar asfaltmassans egenskaper och risken för sprickbildning. Fibrer förbättrar motståndet mot sprickor, medan vidhäftningsmedel minskar vattenkänslighet. Polymerer kan ge både ökad elasticitet och stabilitet beroende på typ men kräver att de blandas in korrekt för att fungera. Vax skiljer sig genom att det både kan förbättra bearbetbarheten men samtidigt göra materialet styvare vid lägre temperaturer, vilket kan öka sprickbenägenheten. Effekterna är därför inte entydiga och vissa kompromisser behöver göras, där det är viktigt att förstå hur tillsatsmedel påverkar asfaltmassans egenskaper och sprickbenägenhet (Edwards & Isacson, 2008; Sahan et al., 2023).

2.3.5. Lagertjocklek

Tjockleken på beläggningen har stor betydelse eftersom en tjockare beläggning kan tåla lägre temperaturer utan att spricka. På högtrafikerade vägar med mycket tung trafik är det vanligt att använda ett bitumen med låg penetrationsgrad för att få en styvare asfaltmassa som kan hantera belastningar bättre. Detta innebär dock att beläggningen blir mindre resistent mot lågtemperatur- och utmattningssprickor, vilket i många fall kompenseras genom att höja tjockleken på beläggningen (Asfaltboken, 1999).

Om lagertjockleken är för tunn i kombination med en större stenstorlek finns det risk att stenarna krossas vid vältning. Därför är det viktigt att ha ett tillräckligt tjockt lager så att stenarna får plats att packas och packningen underlättas. I Sverige brukar tjockleken på asfaltlagren utgå från ungefär 2,5-3 gånger största stenstorlek (Asfaltboken, 1999). Enligt en amerikansk handbok (Buncher & Anderson, 2014) om asfaltrecept, dimensioneras tjockleken vanligtvis utifrån 3-4 gånger den nominella största stenstorleken.

Studier har visat att en ökad asfalttjocklek kan fördröja uppkomsten av sprickor. I en numerisk studie ökade tiden till sprickinitiering för top-down sprickor med cirka 16 % när den totala asfalttjockleken ökades till 20 cm (Tao et al., 2025). Detta indikerar att ett tjockare asfaltlager kan bidra till ett ökat motstånd mot sprickbildning. Erforderligt lagertjocklek kan därför bidra till att minska dragspänningar i beläggningen och därmed fördröja uppkomsten av sprickor.

2.4. Egenskaper hos asfaltbeläggningar

2.4.1. Vattengenomsläpplighet

Vatten är en av de främsta orsakerna till skador i asfaltbeläggningar. Det finns tre olika sätt som vatten kan infiltrera vägkonstruktionen; underifrån, från sidan eller ovanifrån genom ytan på belägningskonstruktionen. Vägens vattengenomsläpplighet styrs främst av hålrumshalten. Asfaltbeläggningar med låg hålrumshalt är generellt tätare än beläggningar med högre hålrumshalt, om inte sprickor förekommer (Jacobson, 1998). Infiltration av vatten genom täta, ospruckna beläggningar är marginell jämfört med den infiltration som sker genom sprickor och fogar (Ridgeway, u.å.). I en skadeutredning av ABS-lagret anger Jacobson (1996) att vattengenomsläppligheten även påverkas av porstrukturen, porernas storlek och beläggningens tjocklek.

Vatten som lyckas tränga in i konstruktionen genom exempelvis sprickor, fogar eller mindre täta beläggningar kan leda till så kallad stensläpp (separation mellan bindemedel och stenmaterial). Utöver själva sammansättningen av asfaltmassan finns det flera andra faktorer som bidrar till vattenrelaterade skador i asfaltbeläggningar. Exempelvis kan dålig dränering eller användning av fuktiga eller smutsiga stenmaterial (dålig vidhäftning) öka risken för vattenrelaterade skador. Vatten som inte kan dräneras bort blir kvar i konstruktionen och i samband med hög trafikbelastningen ge upphov till porvattentryck (Thodesen & Hoff, 2010). Porvattentrycket som är trafikbetingat, ökar och minskar när trafiken passerar över vägen. Denna variation kan leda till brott i asfaltfilmen vilket i sin tur kan leda till stripping (Höbeda, 1998).

Ett sätt att utvärdera hur vatten påverkar asfaltbeläggningen är att undersöka dess vattenkänslighet. Detta görs genom pressdragprovning enligt Trafikverket (2020b) där draghållfastheten för torra respektive vattenmättade provkroppar mäts. Därefter beräknas det indirekta draghållfasthetsindexet (ITSR) enligt:

$$ITSR = \frac{\sigma_{våt}}{\sigma_{torr}} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$\sigma_{våt} = \text{Draghållfasthet våt yta} \quad [\text{kPa}]$$

$$\sigma_{torr} = \text{Draghållfasthet torr yta} \quad [\text{kPa}]$$

Vattenkänsligheten är alltså ett mått som beskriver beläggningens motstånd mot vattenrelaterade skador. I klimat med hög och långvarig nederbörd samt frekventa frys-tö-cykler är det viktigt att asfaltbeläggningen har låg vattenkänslighet (Trafikverket, 2014). Enligt Trafikverket (2020b) ska ITSR vara $\geq 75\%$.

2.4.2. Motstånd mot nötningsslitage från dubbdäck

Vägsitage orsakas i stor utsträckning av användningen av dubbdäck, där dubbarna mekaniskt lossar stenmaterial och partiklar från beläggningens yta. Denna typ av nötning är vanlig under vinterperioden i Sverige då dubbdäck används frekvent. Problematiken är mest framträdande på vägar med hög trafikbelastning, där årsdygnstrafiken överstiger 5000 fordon per körfält, medan låg- och medeltrafikerade vägar påverkas i mindre grad. På vägar med hög trafikintensitet bidrar slitaget till att hjulspår successivt utvecklas i vägbanan (Trafikverket, 2014).

Under början av 1990 talet var andelen fordon utrustade med dubbdäck betydligt lägre än vid slutet av samma decennium. En tydlig förändring inträffade i samband med införandet av vinterdäckslagen år 1999, vilket medförde en ökning av användningen av dubbdäck. I takt med ökad kunskap och teknisk utveckling har nya slitlagerbeläggningar med förbättrad motståndskraft mot nötning från dubbdäck successivt börjat användas (Asfaltboken, 1999).

Införandet av vinterdäckslagen bidrog till ett ökat vägsitage, särskilt i södra Sverige. Samtidigt visar ett historiskt perspektiv att slitaget från dubbdäck idag är lägre än tidigare (Sveriges kommuner och regioner, 2019). Det bör dock beaktas att det totala antalet fordon i trafik har ökat jämfört med tidigare perioder vilket påverkar den samlade belastningen på vägnätet (Asfaltboken, 1999).

Beläggningens nötning påverkas av flera samverkande faktorer. De mest betydelsefulla för nötningsresistensen är (Trafikverket, 2014):

- Stenmateriallets kvalitet
- Beläggningens sammansättning
- Maximala stenstorlek

Vägens slitage bestäms även av ett flertal yttre omständigheter. En ökning av trafikmängden och en större andel fordon med dubbdäck medför att slitaget uppträder snabbare och mer tydligt (Yang et al., 2023). Förekomst av vatten på vägbanan bidrar också till en ökad nedbrytning. Denna nedbrytning uppstår eftersom fukt som tränger in i beläggningen påskyndar sprickbildningen i vägkonstruktionen. Detta eftersom den vatteninträngning orsakar försvagad bärighet som leder till utmattningsprickor (Yang et al., 2023). Därutöver påverkas slitaget av fordonens hastighet, dubbfrekvensen samt graden av spårbundenhet (Trafikverket, 2014).

2.5. Nedbrytning

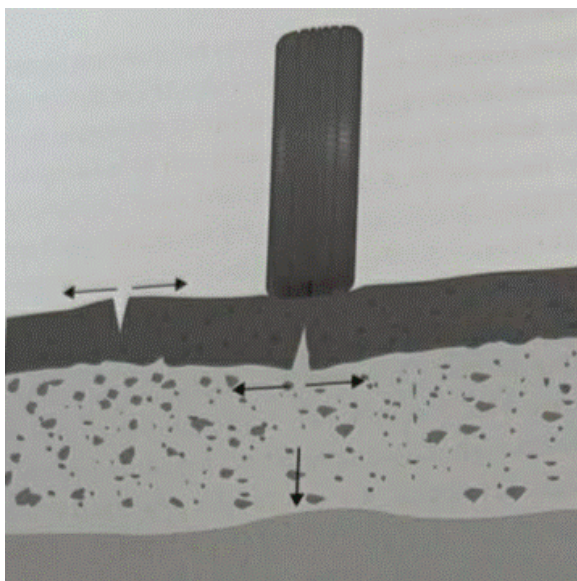
2.5.1. Faktorer som påverkar vägkonstruktionens nedbrytning

Vägar anläggs antingen som nya konstruktioner eller genom ombyggnad och underhåll av befintliga sträckor. Oavsett åtgärd inleds nedbrytningsprocessen så snart vägen tas i bruk. Denna process orsakas av flera faktorer, främst trafikbelastning och miljöpåverkan. Nedbrytningen kan uppstå på olika sätt och ha varierande orsaker, från skador på ytan till djupare lager i vägkonstruktionen. En vanlig orsak är förekomst av vatten i beläggningen till följd av bristfällig dränering men även markförhållanden kan ha betydelse. De underliggande markförhållanden såsom jordart, bärighet och fuktkänslighet har en avgörande påverkan på vägkonstruktionen och sprickbildningen (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019). Denna påverkan av de belastningar en vägkonstruktion utsätts för överförs ner till undergrunden. Undergrundens egenskaper avgör hur stora spänningar och deformationer som uppstår (Kharrazi et al., 2015). Styvheten på marken är ett exempel på en parameter som påverkar sprickbildningen (Dinagda, 2022). Vägkonstruktionens prestanda kan även påverkas av undergrundens grundvatten och fukt (Salour & Erlingsson, 2014). Därför är det avgörande att genomföra en noggrann analys av området där vägen ska byggas eller av den befintliga väg som ska underhållas.

Eftersom nedbrytning är en naturlig och oundviklig process för alla vägar handlar god projektering främst om att fördröja denna utveckling och därigenom förlänga vägens livslängd. Om projekteringen tar hänsyn till alla möjliga parametrar som påverkar vägkonstruktionen negativt, såsom dåliga markförhållanden, klimat och framtida belastningar, kan vägskador förutses. Vägkonstruktioner kan i vissa fall underdimensioneras, vilket innebär att vägen inte klarar av den faktiska belastningen (Agardh & Parhamifar, 2014). På så sätt är projekteringen av vägen en kärnfaktor till vägkonstruktionens livslängd. Olika typer av sprickbildning kan uppträda i olika klimatzoner, vilket innebär att vissa spricktyper i vissa fall kan bedömas som mindre relevanta (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019). Exempelvis är tjälsprickor inte alltid relevanta vid utredning av skador på vägar i södra Sverige.

2.5.2. Sprickbildning

Sprickbildning i vägkonstruktioner kan uppstå genom flera olika mekanismer, men en vanlig orsak är upprepad belastning som leder till materialutmattning. Två huvudsakliga typer av sprickor brukar beskrivas i detta sammanhang, top-down och bottom-up. Bottom-up sprickor bildas i beläggningens underkant och utvecklas gradvis upp mot ytan. Top-down sprickor däremot börjar vid vägbanans yta och fortskrider nedåt genom de bundna lagren, se Figur 5 (Agardh & Parhamifar, 2014).

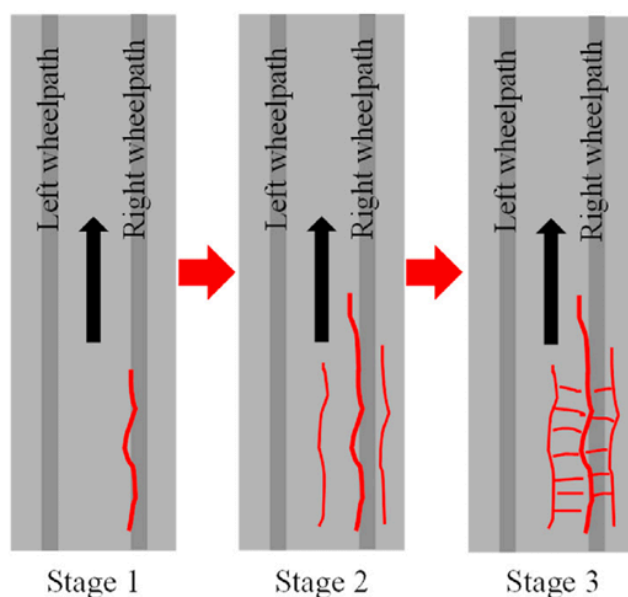


Figur 5: Sprickbildning i hjulspår och bredvid hjulspår (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.5.2.1. Top-down sprickor

När en spricka bildas vid beläggningens yta och därefter med tiden fortsätter nedåt genom de bundna lagren benämns den som en top-down spricka. I ett tidigt skede av denna sprickutveckling har sprickan ännu inte nått hela vägen genom beläggningen, vilket innebär att de obundna lagren fortfarande kan vara skyddade från inträngande vatten från ytan. Detta skiljer sig från bottom-up sprickor, där sprickbildningen redan har sitt ursprung i konstruktionens nedre del och därmed lättare skapar en genomgående öppning i beläggningen. Top-down sprickor uppträder ofta i anslutning till men något vid sidan av, hjulspåren där belastningsförhållandena bidrar till sprickbildning (Agardh & Parhamifar, 2014).

Top-down sprickor initieras vanligtvis som längsgående sprickor i anslutning till hjulspåren. I ett senare skede uppstår ytterligare sprickor parallellt med den ursprungliga, ofta på ett avstånd mellan cirka 0,3 och 1 meter. Med tiden utvecklas även tvärgående sprickor som förbinder den initiala sprickan med de parallella sprickorna, vilket resulterar i ett mer komplext sprickmönster, se Figur 6. Denna sprickutveckling kan i vissa avseenden likna den som observeras vid bottom-up sprickbildning, vilket innebär att en analys krävs för att fastställa sprickornas ursprung. Till skillnad från bottom-up sprickor initieras dock top-down sprickor vid beläggningens yta och fortplantar sig vertikalt nedåt genom asfältlagret. Under sprickans utveckling kan den vertikala sprickan även ändra riktning och avvika med en lutning på cirka 20 till 40 procent (Canestrari & Ingrassia, 2020).



Figur 6: Top-down sprickors utveckling (Canestrari & Ingrassia, 2020).

Top-down sprickor uppstår till följd av flera samverkande faktorer snarare än en enskild orsak. Dessa kan relateras till beläggningsens uppbyggnad, termiska effekter, trafikbelastning, variationer i styvhet, asfaltens materialsammansättning samt brister i utförandet (Canestrari & Ingrassia, 2020). Generellt tenderar tunnare beläggningar att vara mer benägna för bottom-up sprickor, medan top-down sprickor oftare förekommer i tjockare konstruktioner. En central mekanism bakom top-down sprickor är de kontaktspanningar som uppstår mellan fordonets däck och vägbanan. Dessa spänningar ger upphov till drag- och skjuvspänningar i beläggningsens ytskikt. Det innebär att slitlagrets egenskaper har betydelse för sprickbildningen. Även bindemedlets styvhet är en avgörande faktor, då ett styvare bindemedel kan öka risken för sprickbildning. Vidare kan utförandebrister, såsom otillräcklig packning eller separation i asfaltblandningen, bidra till att försvaga strukturen och därmed främja utvecklingen av top-down sprickor. Termiska effekter har i de flesta fall en begränsad inverkan, såvida inte beläggningen utsätts för extrema klimatförhållanden. En utmaning är att det i dagsläget saknas etablerade metoder för att förutsäga motståndet mot top-down sprickor, vilket delvis beror på att ämnet fortfarande är relativt outforskat (Canestrari & Ingrassia, 2020).

Enligt Sun et al. (2018) är mekanismerna bakom top-down sprickor komplicerade men att den centrala orsaken är skjuvspänningar. Dessa spänningar ger upphov till dragtöjningar i det övre asfalten, vilket leder till sprickbildning. De uppkomna sprickorna tar sig därefter successivt nedåt genom beläggningsens olika lager.

Top-down sprickor har i ökande grad utvecklats till ett betydande problem inom vägkonstruktioner. Detta ställer höga krav på korrekt hantering av framför allt slitlagret men även övriga lager, genom hela processen från projektering till utförande och vidare till underhåll. Ett välplanerat och korrekt genomfört underhåll är avgörande för att

beläggningen ska uppnå en förväntad livslängd på omkring 20 år innan utbyte blir aktuellt. För tidig åldring och förhårdnad av bindemedlet kan leda till att asfaltbeläggningen blir spröd, vilket ökar benägenheten för top-down sprickbildning. För att motverka detta är materialvalet av stor betydelse. Användning av exempelvis polymermodifierat bindemedel har visat positiva effekter när det gäller att reducera risken för denna typ av sprickor (Emery, 2006).

Enligt Fan et al. (2024) har åldringsgradienter i asfaltbeläggningar en avgörande inverkan på utvecklingen av top-down sprickor. Vidare beskrivs att en hög styvhet i slitlagret ökar benägenheten för sprickbildning medan högre styvhet i underliggande lager, såsom bindlager och bundet bärlager, istället bidrar till att motverka sprickutveckling. Om åldringsgradienten inte beaktas i projekteringsskedet finns en betydande risk att beläggningens livslängd överskattas, vilket kan leda till felaktig planering av underhållsåtgärder. För beläggningar där åldringsgradienter inkluderas i beräkningarna visar resultaten att utmattningens livslängden är cirka 51 % kortare jämfört med fall där dessa effekter försummas. Detta innebär i praktiken att livslängden kan reduceras avsevärt och att sprickorna kan bildas och utvecklas snabbare än förväntat. Fan et al. (2024) betonar även att cirka 50 % av beläggningens totala livslängd är kopplad till slitlagret. Sprickor som bildas i detta lager har en tendens att snabbt ta sig nedåt i konstruktionen. Detta understryker vikten av att vidta underhållsåtgärder i ett tidigt skede, redan när sprickor börjar uppträda på ytan, för att förhindra vidare skador i de underliggande lagren.

2.5.2.2. Bottom-up sprickor

Sprickor i den nedre delen av de bundna lagren uppstår främst där dragtöjningarna är som störst. Detta innebär att sprickbildning ofta förekommer i hjulspåren, där trafikbelastningen är som mest koncentrerad. I dessa områden är det därför vanligt att sprickorna har sitt ursprung i beläggningens underkant. När en bottom-up spricka väl har nått ytan indikerar det att sprickan redan har utvecklats genom hela den bundna överbyggnaden. Detta kan skapa möjligheter för vatten att tränga igenom beläggningen och vidare ner i de obundna lagren, vilket i sin tur kan påverka konstruktionens hållbarhet negativt (Agardh & Parhamifar, 2014).

Bottom-up sprickor är i huvudsak kopplade till utmattning i vägkonstruktionen, vilken uppstår till följd av upprepade trafikbelastningar. Belastningens storlek samt antalet belastningar har betydelse för utvecklingen av denna typ av sprickbildning. De mekaniska påkänningar som genereras i materialet leder successivt till nedbrytning (Agardh & Parhamifar, 2014).

Förmågan att motstå de dragtöjningar som uppstår i underkanten av de bitumenbundna lagren påverkas i hög grad av materialets sammansättning, särskilt bindemedelshalten. En högre halt av bindemedel i det undre bundna bärlagret bidrar till att minska risken för

sprickbildning samt förbättrar beläggningens långsiktiga hållbarhet (Newcomb et al., 2001).

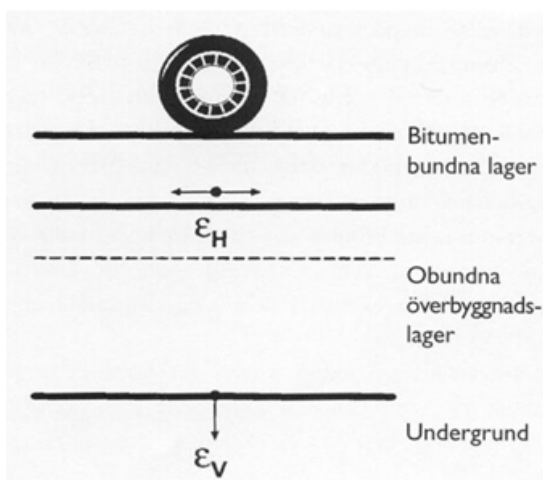
Även asfaltbeläggningens tjocklek har en betydande inverkan på både livslängd och utmattningsbeteende. En ökad lagertjocklek leder generellt till lägre töjningar i konstruktionen, vilket i sin tur bidrar till en förlängd livslängd och minskad risk för bottom-up sprickbildning. Samtidigt kan en alltför stor tjocklek medföra en ökad benägenhet för top-down sprickor. Detta innebär att dimensioneringen av asfaltlagrets tjocklek utgör en avvägning mellan olika skademekanismer, vilket gör fastställandet av en optimal tjocklek till en komplex uppgift (Cheng et al., 2022).

2.5.3. Spricktyper

2.5.3.1. Längsgående sprickor i hjulspår

Vid hög belastning från tung trafik kan vägar drabbas av längsgående sprickor som uppträder i hjulspåren. Denna sprickbildning uppstår främst till följd av horisontella dragtöjningar som genereras när tunga fordon passerar över beläggningen. Dragtöjningarna utvecklas initialt i den nedre delen av beläggningsslagret och fortplantar sig därefter upp mot ytan, vilket gör att sprickorna så småningom blir synliga på vägbanan. Detta är särskilt vanligt i tunnare beläggningar eftersom dragtöjningen i beläggningens underkant där blir större. I konstruktioner med tjockare beläggningsslager uppstår sprickbildningen istället oftare direkt vid ytan, alltså en top-down spricka (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019).

Figur 7 illustrerar den dragtöjning som uppstår i vägkonstruktionen till följd av belastning från tung trafik. De sprickor som utvecklas som en konsekvens av dessa upprepade dragtöjningar kallas för utmattningssprickor. Denna typ av sprickbildning förekommer ofta i hjulspåren och är ett resultat av materialets gradvisa nedbrytning under återkommande belastning.



Figur 7: Dragtöjningen i vägkonstruktionen. Källa: Asfaltboken (1999).

Det finns flera möjliga orsaker till att sprickor uppstår i hjulspåren. En faktor kan vara att den förväntade tekniska livslängden har uppnåtts. Vägbeläggningar dimensioneras vanligtvis för en livslängd på omkring 20 år (Asfaltboken, 1999). En annan möjlig förklaring är att konstruktionen är underdimensionerad. Detta kan innebära att den faktiska belastningen överstiger de värden som användes i dimensioneringsberäkningarna, exempelvis genom högre trafikflöden eller en större andel tung trafik än förväntat. Det kan även bero på att väggroppens bärighet i praktiken är lägre än vad som antogs vid projekteringen (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019).

2.5.3.2. Krackelering

Krackelering är en form av sprickbildning som ofta utvecklas till följd av redan befintliga sprickor, exempelvis sprickor i hjulspåren. När större sprickor har uppstått kan mindre sprickor börja bildas och sprida sig från dessa. De mindre sprickorna växer i olika riktningar och förenas, vilket ger ett mönster som ofta liknas vid krokodilskinn (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019).

Krackelering kan även utvecklas från andra typer av sprickor, såsom kantsprickor eller tvärgående sprickor. Uppkomsten kan ha flera orsaker, till exempel att vägkonstruktionen är underdimensionerad eller att den utsätts för överbelastning (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019).

2.5.3.3. Reflektionssprickor

Reflektionssprickor är en form av sprickbildning som uppstår när befintliga sprickor i ett underliggande lager överförs till ett nylagt beläggningsslager. När en ny asfaltbeläggning appliceras ovanpå en äldre beläggning som redan innehåller sprickor, finns det en stor sannolikhet att dessa sprickmönster successivt återkommer i den nya ytan. Detta eftersom spänningar och rörelse i den underliggande beläggningen "reflekteras" uppåt (Agardh & Parhamifar, 2014).

2.5.3.4. Övriga sprickor

Det kan även förekomma andra typer av sprickor på vägar. Nedan presenteras en del andra spricktyper men som inte är relevanta för de delsträckor som behandlas i detta examensarbete.

Kantsprickor

Kantsprickor uppstår i beläggningens ytterområden, det vill säga nära vägkanterna. De framträder som längsgående sprickor som ofta är djupa och kan sträcka sig över längre sträckor. Uppkomsten kan bero på bristande sidostöd, otillräcklig dränering eller att vägen är smal, vilket medför att tung trafik belastar vägkanterna. För att undvika ännu större skador bör dessa sprickor åtgärdas genom tätning i ett tidigt skede (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019).

Fogsprickor

Fogsprickor uppträder vanligen i övergången mellan olika asfaltbeläggningar, exempelvis mellan två körfält eller mellan körfält och vägren. Sprickorna uppstår i skarven mellan asfaltmassorna och uppkommer ofta till följd av bristande vidhäftning eller otillräcklig packning (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019). Detta kan leda till materialförlust samt vatteninträngning i konstruktionen. För att förhindra sådana följdverkningar behöver sprickorna tätas (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019).

Tvärgående sprickor

Tvärgående sprickor är sprickor som oftast löper över vägbanan från den ena vägkanten till den andra (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019). De kan uppstå av flera orsaker. En bidragande faktor är snabba temperaturförändringar som medför krympning i vägkonstruktionen, vilket ger upphov till sprickbildning (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019). Materialvalet i konstruktionen har också betydelse, exempelvis typen av bindemedel (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019). Även vägar med underliggande cementbetong kan drabbas av tvärgående sprickor när betongplattorna rör sig (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019).

Sprickor vid lagningar

Efter ingrepp i vägbanan, exempelvis vid schaktning för VA-anslutningar eller liknande arbeten, krävs återställning av beläggningen. Val av metod beror på ingreppets karaktär och de rådande förhållandena för vägen. Om lagningen utförs bristfälligt, till exempel genom otillräcklig packning eller en svag fog mellan ny och befintlig beläggning, kan skador uppstå. Detta kan ge upphov till krackelering och sprickbildning samt ojämnheter och slaghål. Det är därför viktigt att vid inventering av väg beakta tidigare underhållsåtgärder och utförda lagningar (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019).

Tjälsprickor

Tjälsprickor förekommer i kalla klimat där tjäle bildas i vägkroppen. Sprickbildningen är en följd av tjällyftningar i konstruktionen. Utöver klimatförhållandena påverkas uppkomsten även av materialen i vägkroppen samt av markens egenskaper. Tjälsprickor uppträder vanligtvis som längsgående sprickor och kan vara placerade antingen i vägens mitt eller närmare kanten, beroende på vägbredd. Snöansamlingar längs vägens sidor och i dess omgivning kan också ha betydelse för sprickbildningen (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019). Dessa sprickor är ofta stora och kan ge upphov till ytterligare skador, såsom krackelering och annan sprickbildning (Sveriges Kommuner och Regioner, 2019).

2.5.4. Påverkan av sprickbildning på underhållsåtgärder och ekonomi

Sprickbildning i asfaltbeläggningar påverkar inte enbart vägens tekniska funktion utan medför även betydande ekonomiska konsekvenser. När sprickor uppstår ökar risken för att vatten tränger ner i vägkonstruktionen, vilket kan påskynda nedbrytningen av

underliggande lager och leda till mer omfattande underhållsåtgärder (Emery, 2006; Canestrari & Ingrassia, 2020).

Flera studier visar att tidig identifiering och åtgärd av sprickor kan minska livscykelkostnaderna för vägar genom att förhindra att skadorna utvecklas till större konstruktionsproblem. Om sprickorna tillåts utvecklas kan underhållsbehovet öka från ytbehandling eller byte av slitlager till mer omfattande rehabilitering där även bindlager och underliggande lager behöver ersättas (Newcomb, Buncher & Huddleston, 2001; Emery, 2006).

Enligt Sveriges Kommuner och Regioner (2019) är förebyggande underhåll av stor betydelse för att minska de långsiktiga kostnaderna för väginfrastrukturen. Försämrade beläggningskvalitet leder inte bara till högre direkta underhållskostnader utan kan även medföra ökade samhällsekonomiska kostnader genom sämre trafiksäkerhet, lägre komfort och ökad risk för skador på vägkonstruktionen.

2.6. Vägyteegenskaper

PMSv4 (Pavement Management System) är Trafikverkets system för att analysera och följa upp tillståndet på det statliga vägnätet. Systemet innehåller bland annat data från vägytemätningar och information om genomförda åtgärder (Trafikverket, 2024)

Vid vägytemätningar samlas tillståndsdata in för att beskriva vägytans tillstånd. Två vägytemått av särskild betydelse är spårdjup och IRI (Ramböll, 2014).

2.6.1. Spårdjup

Spårdjup är ett mått som beskriver vägytans ojämnheter i tvärled. Den anger hur mycket vägbanan har deformerats i hjulspår, oftast orsakat av tung trafik. Spårdjup har minimal påverkan på körkomfort och trafiksäkerhet men det finns risk att vatten samlas i spåren. Detta kan i sin tur öka risken för vattenplaning och isbildning (Ramböll, 2014).

Spårdjupsvärden som ligger under 2 mm är inte märkbara för blotta ögat men spårdjup som ligger mellan 10-17 mm är mycket tydliga och märkbara (Ramböll, 2014). För samma vägtyper anger Trafikverket ett gränsvärde för spårdjup på ≤ 13 mm (Trafikverket, u.å.).

2.6.2. Ojämnhet - IRI

IRI (International Roughness Index) är ett mått som beskriver vägytans långsgående ojämnheter och är ofta en faktor som återspeglar körkomforten. Låga IRI-värden indikerar en jämn vägyta och god körkomfort medan höga värden kan indikera ojämnheter i vägytan, exempelvis sättningar, gupp och sprickor (Ramböll, 2014).

Generellt betraktas vägar med IRI-värden under cirka 1,5 mm/m som mycket jämna, medan värden mellan 3-4 mm/m innebär att komfortabel färd vid högre hastigheter inte längre är möjlig (Ramböll, 2014). Vid högre hastigheter blir skillnaderna i IRI mer märkbara för trafikanterna (Ramböll, 2014). För vägar med skyltad hastighet 110 km/h och hög trafikmängd ligger Trafikverkets gränsvärde för $IRI \leq 2,6$ mm/m (Trafikverket, u.å.).

3. Metoder

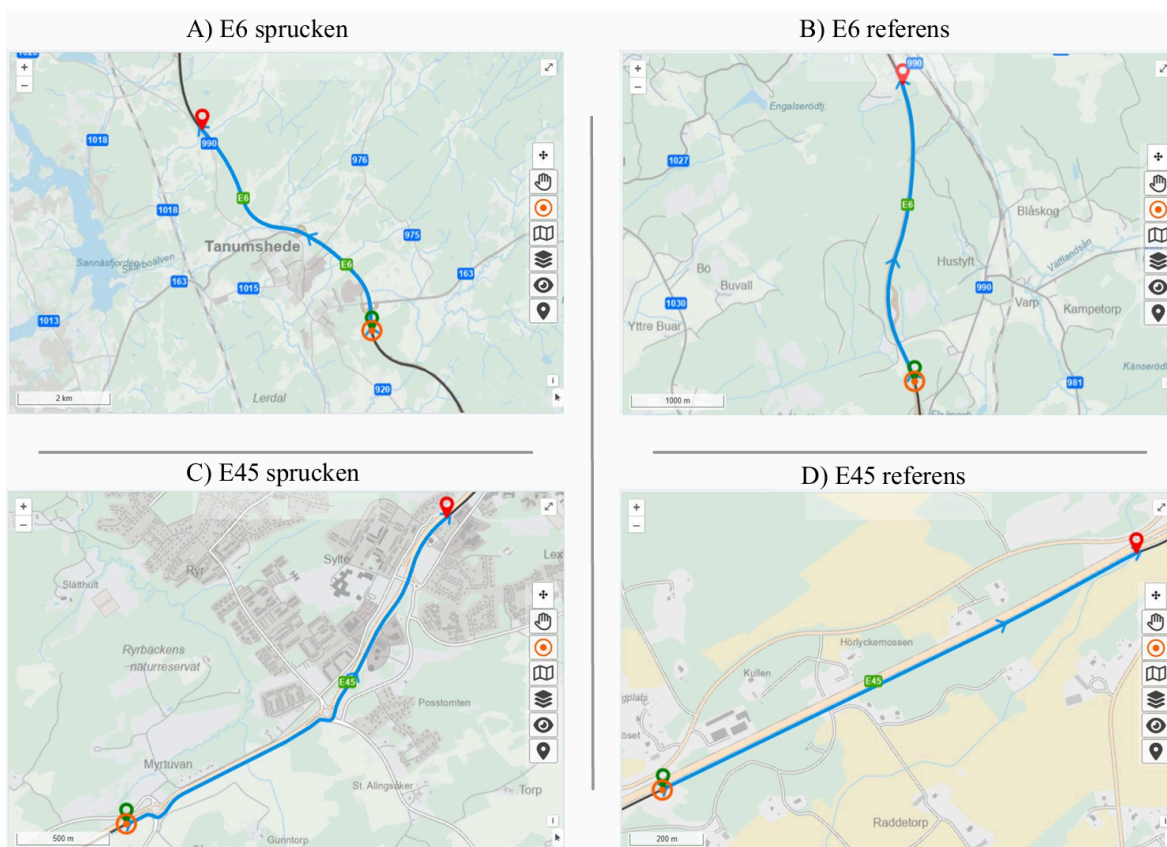
3.1. Objektbeskrivning

Studien omfattar två utvalda sträckor på E6 och E45 i Västra Götalands län där sprickbildning i asfaltbeläggningen har identifierats. De studerade delsträckorna på E6 är belägna i norra Bohuslän medan delsträckorna på E45 ligger mellan Göteborg och Trollhättan i Fyrbodalsområdet. För att möjliggöra jämförelser har även en referenssträcka för respektive väg valts ut, där sprickbildning inte förekommer. Se Tabell 5 för att få en översikt om väg- och trafikdata för de studerade delsträckorna.

Tabell 5: Översikt av studerade delsträckor.

Beskrivning	E6, Tanumshede–Knäm	E6, Lugnet–Skee (referens)	E45, Sjuntorpsvägen– Göteborgsvägen	E45, Stenröset– Sjuntorpsvägen (referens)
Tillstånd	Spricker	Spricker ej	Spricker	Spricker ej
Benämning i rapporten	E6 sprucken	E6 referens	E45 sprucken	E45 referens
Beläggningsår	2012	2011	2012	2013
Längd (m)	6150	3300	2550	1430
ÅDT (f/d)	5800	5000	6600	6600
Tung trafik (%)	14–28	16–24	6–12	6–12
Typ av väg	Motorväg	Motorväg	4-fältsväg	4-fältsväg
Hastighetsgräns (km/h)	110	110	70	100

Delsträckorna är lagda vid ungefär samma tidsperiod och har en trafikbelastningen som varierar från 5000–6600 ÅDT. På E6 är andelen tung trafik högre än E45. För delsträckorna på E6 är hastighetsgränsen konstant 110 km/h medan för E45 går hastigheten från 100 km/h ned till 70 km/h. Hastighetssänkningen beror på att delsträckan Sjuntorpsvägen–Göteborgsvägen är en förbindelse till tätortsmiljö. På E6 samt den E45 referens är vägsektionerna mer öppna där det förekommer skyddsräcke endast på vissa delar längs vägen. Däremot, på E45 sprucken, finns det vägräcke längs hela delsträckan intill vägrenen. Detta ger en mer kompakt vägmiljö där trafiken är mer fokuserad till körfälten och hjulspåren. Delsträckorna har flera gemensamma förutsättningar, exempelvis liknande beläggningsår och trafikbelastning. Däremot förekommer skillnader i andel tung trafik, hastighetsgräns och vägmiljö som kan påverka förutsättningarna. Delsträckorna redovisas i Figur 8.



Figur 8: Studerade delsträckor på E6 och E45: A) E6 Tanumshede–Knäm, B) E6 Lugnet–Skee, C) E45 Sjuntorpsvägen–Göteborgsvägen, D) E45 Stenröset–Sjuntorpsvägen. Källa: PMSv4.

Väguppbbyggnaden är ganska lik mellan delsträckorna men skiljer sig i till exempel bindemedelstyp och största stenstorlek i mass typerna. Den största skillnaden finns i slitlagret där den spruckna delsträckan på E6 har använt en ABS medan referenssträckan har använt en TSK. På E45 har samma mass typ använts där den enda skillnaden är bindemedelstypen, 70/100. En sammanställning av lageruppbbyggnad och dimensionerade tjocklekar (angivna i mm) för respektive lager redovisas i Tabell 6.

Tabell 6: Lageruppbbyggnad och dimensionerad tjocklek för studerade delsträckor.

Lager	E6 sprucken	E6 referens	E45 sprucken	E45 referens
Slitlager	ABS 16 70/100, 40	TSK 16 70/100, 20	ABS 11 50/70, 35	ABS 11 70/100, 35
Bindlager	ABb 16 50/70, 55	ABb 22 50/70, 65	ABb 22 50/70, 55	ABb 22 50/70, 55
Bärlager, övre	AG 22 70/100, 50	AG 22 70/100, 50	AG 22 70/100, 50	AG 22 70/100, 50
Bärlager, nedre	AG 22 160/220, 50	AG 22 160/220, 50	AG 22 160/220, 50	AG 22 160/220, 50
Total tjocklek (mm)	195	185	190	190

3.2. PMSv4

PMSv4 har främst använts via *Analysera sträcka* där information om beläggningsår, tidigare åtgärder, ÅDT, hastighet och bilder har hämtats för respektive delsträcka. Även uppgifter som bindemedelstyp, stenmaterial och utförande har använts som komplement till arbetsrecept och kvalitetskontroller. Bilderna har använts för att bedöma tillståndet och följa utvecklingen av sprickor över tid. Spårdjupet har även studerats som en del av tillståndsbedömningen. Vidare har *Positionsvisning* använts ute i fält vid borrprovningen för att ta fram exakta positioner för provpunkterna.

Delsträckorna på E45 redovisas i medriktning enligt PMSv4. Provtagningen har dock utförts i motsatt körbana, det vill säga i riktning från Göteborgsvägen mot Stenröset.

3.3. Nationell vägdatabas

Från PMSv4 har koordinater i SWEREF 99 TM för respektive delsträcka tagits fram. Dessa har använts i den svenska nationella vägdatabasen (NVDB) för att identifiera samma sträckor. Från NVDB har därefter uppgifter om vägtyp, uppskattad ÅDT, andel tung trafik och hastighetsgräns hämtats. Uppgifter som saknats i PMSv4 har kompletterats med data från NVDB och motsvarande har gjorts i de fall information saknats i NVDB.

3.4. Byggritningar

Normalsektioner och andra ritningar har erhållits från Trafikverket. Dessa har använts för att kontrollera vägarnas uppbyggnad, exempelvis vilka lager som ingår och deras tjocklekar. Ritningarna har även använts för att jämföra med information från PMSv4 och resultatpärmarna för att säkerställa att uppbyggnaden stämmer.

3.5. Tillgängligt underlag från produktionen

Tillgängligt material och dokumentation från produktionen tillhandahålls av Trafikverket. De underlag har mottagits i olika former, se Tabell 7.

Tabell 7: Form av underlag för delsträckorna.

Delsträcka	Format
E6 sprucken	Fysisk pärm
E6 referens	Digital (Excel)
E45 sprucken	Digital (PDF)
E45 referens	Digital (Excel)

Det tillgängliga underlaget från resultatpärmarna innehåller i varierande omfattning följande information:

- Arbetsrecept
- Kvalitetskontroll på asfaltmassa
- Kvalitetskontroll av färdig beläggning
- Vattenkänslighetsprovning
- Lagertjocklekar

Analysen utgår från två tillstånd. Det första beskriver vägens uppbyggnad vid byggskedet och baseras på arbetsrecept och kvalitetskontroller från tillgängligt underlag. Det andra beskriver vägens nuvarande tillstånd och baseras på analyser av uttagna borrhärdar. Dessa har jämförts för att identifiera skillnader i material och utförande.

3.6. Datainsamling

Datainsamlingen för de delsträckor som analyseras i detta arbete har genomförts med flera kompletterande metoder. Information har inhämtats från olika källor för att möjliggöra en bred och nyanserad analys. En betydande del av datan, såsom beläggningstyp, beläggningshistorik, lagertjocklekar, ÅDT samt bildmaterial, har erhållits från PMSv4. Databasen innehåller både historiska uppgifter från tidpunkten då beläggningarna anlades och mer aktuella data för de studerade sträckorna.

Ytterligare information har samlats in från Trafikverkets nationella vägdatabas (NVDB), vilken tillhandahåller omfattande data om det svenska vägnätet. Från denna datakälla har bland annat uppgifter om ÅDT, andel tung trafik samt vägtyp samlats och använts i den fortsatta analysen.

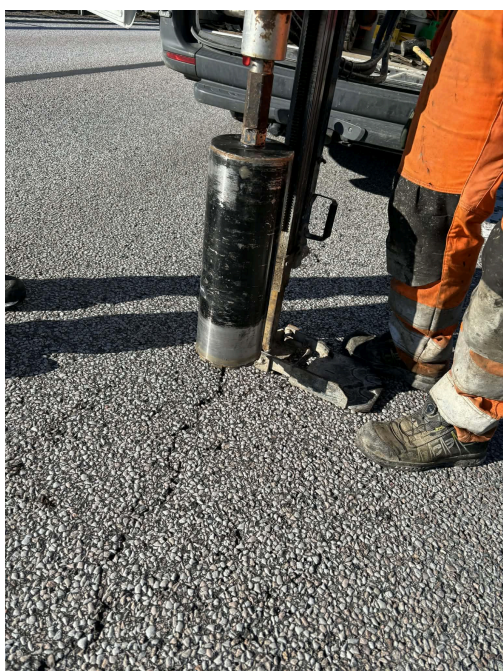
Utöver öppet tillgängliga databaser har kompletterande datainsamling genomförts genom kontakt med entreprenörer ansvariga för de aktuella delsträckornas utförande. Genom dessa kontakter har tillgång erhållits till så kallade resultatpärmar, vilka innehåller dokumentation i form av arbetsrecept och kvalitetskontroller. Materialet består huvudsakligen av provningar utförda i samband med beläggningsarbetena men inkluderar även vissa senare analyser samt bilddokumentation av borrhärdar.

Det visuella materialet, såsom fotografier av vägsträckor och borrhärdar, har bidragit till en ökad förståelse för beläggningarnas tillstånd och har legat till grund för planeringen av nya borrhärdar, inklusive val av provtagningsplatser. Kvantitativ data i form av mätvärden och statistiska uppgifter har sammanställts och bearbetats i Microsoft Excel. Tabeller och diagram har använts för att strukturera och analysera materialet. Detta har möjliggjort både enskilda analyser av respektive delsträcka och jämförelser mellan olika sträckor.

Vidare har uppmätta parametrar för de olika beläggningarna jämförts med tillhörande arbetsrecept samt gällande krav från Trafikverket. Detta i syfte att bedöma överensstämmelse och identifiera eventuella avvikelser.

3.7. Upptag och laboratorieprovning av borrhärnor

Borrhärning genomfördes den 7–8 april 2026 på samtliga delsträckor. Upptag utfördes under pågående trafik där arbetsområdet skyddades med TMA-fordon. Inför provtagningen bestämdes att prover skulle tas i hjulspår samt mellan hjulspår. De borrhärnor som analyseras är från mellan hjulspår, eftersom dessa i mindre grad påverkas av trafikens efterpackning och ger en bättre bild av materialets ursprungliga tillstånd. Borrhärnor togs med kärnborrhär där prover i hjulspår borrhärs ned till bundet bärlager medan resterande prover mellan hjulspår borrhärs endast ner till underkanten av bindlagret, se Figur 9. Antalet prover i hjulspår varierade mellan 1–3, där fler prover togs på sträckor med sprickor. Utförd provtagning för respektive delsträcka redovisas i Tabell 8.



Figur 9: Användning av kärnborrhär för upptagning av borrhärnor.

Tabell 8: Sammanställning av provtagning och borrhärdor på samtliga delsträckor.

Objekt	Läge	Prov-sektion	Antal prov	Diameter (mm)	Observation vid uttag
E6 sprucken (PMSv4 Med K1 153/495)	i hjulspår	spricker	1	150	kompakt och hel
	i hjulspår	begynnande spricka	1	150	kompakt och hel
	mellan hjulspår	spricker ej	6	150	kompakta och hela
	mellan hjulspår	spricker ej	12	100	kompakta och hela
E6 referens (PMSv4 Med K1 172/375)	i hjulspår	spricker ej	1	150	kompakt och hel
	mellan hjulspår	spricker ej	6	150	kompakta och hela
	mellan hjulspår	spricker ej	12	100	kompakta och hela
E45 sprucken (PMSv4 Mot K1 112/100)	i hjulspår	spricker	2	150	lagerseparation, sönderfaller
	i hjulspår	begynnande spricka	1	150	kompakt och hel
	mellan hjulspår	spricker ej	6	150	kompakta och hela
	mellan hjulspår	spricker ej	12	100	kompakta och hela
E45 referens (PMSv4 Mot K1 112/942)	i hjulspår	spricker ej	1	150	kompakt och hel
	mellan hjulspår	spricker ej	6	150	kompakta och hela
	mellan hjulspår	spricker ej	12	100	kompakta och hela

Fördelningen av borrhärdorna för provning av olika egenskaper gjordes enligt följande på varje delsträcka:

- hållrumshalt: 2 st $\varnothing$ 100 mm
- kornstorleksfördelning och bindemedelshalt: 2 st $\varnothing$ 150 mm
- mjukpunkt: extraherade bindemedlet från $\varnothing$ 150 mm-borrhärdorna användes för analys
- ITSr: 10 st $\varnothing$ 100 mm

Uttagna borrhärdor mellan hjulspår märktes och transporterades därefter till ett ackrediterat laboratorium för vidare analys. Följande provningar har utförts enligt SS-EN-standarder och Trafikverkets metodbeskrivningar.

- uppmätning av tjocklek (SS-EN 12697-36)
- bindemedelshalt (SS-EN 12697-1)
- mjukpunkt (SS-EN 1427)
- hållrumshalt (SS-EN 12697-8)
- vattenkänslighet genom pressdragprovning (TDOK 2017:0650)

3.8. Beräkning av intervall för mjukpunkt

För E6 referens och E45 sprucken saknas värden för mjukpunkten vid nybyggnation. I dessa fall redovisades istället bindemedlets mjukpunktsförändring i kvalitetskontrollerna. För att kunna jämföra dessa värden med resultaten från 2026 beräknades ett möjligt mjukpunktsintervall vid nybyggnation.

Beräkningen baserades på de mjukpunktsintervall som anges för respektive bindemedelstyp i *Bitumenbundna lager* (Trafikverket, 2020a). För delsträckor där endast bindemedlets mjukpunktsförändring redovisades i kvalitetskontrollerna beräknades ett möjligt intervall för mjukpunkten vid nybyggnation genom att addera den redovisade mjukpunktsförändringen till det lägsta respektive högsta värdet i mjukpunktsintervallet för det aktuella bindemedlet. Därefter användes intervallets medelvärde som stapelvärde i figurerna, medan halva intervallbredden redovisades som felstapel. Felstaplarna visar därmed inte statistisk spridning utan det beräknade intervallet för mjukpunkten vid nybyggnation.

För bindemedel 70/100 är mjukpunktsintervallet 43–51 °C. Om mjukpunktsförändringen är till exempel 5 °C kan följande beräkning göras:

$$\text{Nedre gräns} = 43 + 5 = 48 \text{ °C}$$

$$\text{Övre gräns} = 51 + 5 = 56 \text{ °C}$$

Medelvärdet beräknas då som:

$$\frac{48+56}{2} = 52 \text{ °C}$$

Felstapeln beräknas som:

$$\frac{56-48}{2} = 4 \text{ °C}$$

Detta innebär att värdet i figuren redovisas som $52 \pm 4 \text{ °C}$, vilket motsvarar intervallet 48–56 °C.

4. Resultat

I detta avsnitt kommer resultatet på olika parametrar att presenteras för samtliga delsträckor. En samling av arbetsrecept, kvalitetskontroller, borrprovningar och annat underlag kommer att redovisas i form av figurer, tabeller och i löpande text.

4.1. Tillståndsparameterar

Nedan presenteras vägens tillståndsparametrar för samtliga delsträckor i form av spårdjup, IRI och kantdjup. Dessa parametrar används för att beskriva vägens ytegenskaper och för att jämföra skillnader som inte fångas upp av de vanliga provmetoderna. Även om parametrarna inte direkt förklarar sprickbildningen kan de visa om de spruckna delsträckorna skiljer sig från referenssträckorna i form av deformation och ojämnheter i vägytan och på något sätt ge en översiktssbild av tillståndet på vägarna. Se Figur 10 som visar utvecklingen av spårdjupet för samtliga delsträckor.



Figur 10: Spårutveckling på samtliga delsträckor. Källa: PMSv4.

Från Figur 10 redovisas spårutvecklingen som medelvärde för varje 20 m-delsträcka. Spårdjupet är relativt lika längs delsträckorna på både E6 och E45. På de spruckna delsträckorna är spårdjupet något lägre jämfört med respektive referenssträcka. Även IRI och kantdjup visar liknande värden mellan delsträckorna. IRI varierar mellan cirka 0,5–1,5 mm/m medan kantdjupet understiger 8 mm. Samtliga parametrar ligger under Trafikverkets gräns för underhållsåtgärd.

4.2. Okulär bedömning av skador

I detta avsnitt redovisas den okulära skadebilden för de studerade delsträckorna och en okulär bedömning av borrkärnor har gjorts. Fokus ligger på spricktyp, placering och omfattning.

4.2.1. Okulär skadebild av tillståndet på delsträckorna

På de spruckna delsträckorna förekommer sprickorna som längsgående i hjulspår, se Tabell 9. För båda delsträckorna förekommer sprickorna enbart i K1 och i både höger och vänster hjulspår. För sprucken delsträcka på E6 är sprickorna mer lokala och inte lika omfattande som på den spruckna delsträckan på E45. På grund av detta genomfördes en sprickinventering på denna sträcka som visar att sprickor förekommer längs cirka 22 % av sträckan i vänster hjulspår och cirka 50 % i höger hjulspår. Se Bilaga 1 för en mer detaljerad sprickinventering.

Tabell 9: Okulär skadebild av sprickor längs med delsträckorna.

Skadebild	E6 sprucken	E6 referens	E45 sprucken	E45 referens
Spricktyp	längsgående	–	längsgående	–
Placering	hjulspår	–	hjulspår	–
Omfattning	begränsad	–	stor del	–

Figur 11 visar längsgående sprickor i hjulspår på de studerade delsträckorna. Sprickorna på E6 är något mindre utvecklade än på E45 men båda delsträckorna uppvisar samma spricktyp.



Figur 11: Sprickbildning i hjulspår på E6 (vänster bild) och på E45 (höger bild).

På samtliga delsträckor observerades vägslitage, särskilt i hjulspår, i form av avnötning. På de delsträckor med sprickbildning var avnötningen något större. Viss spårbildning kunde också noteras men inget märkvärdigt. På E45 noterades att vatten samlades i hjulspåren, medan avrinningen var bättre på E6, se Figur 12.



Figur 12: Avrinning av vatten på delsträckorna på E6 (vänster bild). Delsträckorna på E45 hade vatten som samlades i hjulspåren (höger bild).

4.2.2. Okulär bedömning av borrhärdor

För varje uppbordrad borrhärdor gjordes en visuell bedömning av dess skick och tillstånd. Skillnader observerades mellan de spruckna och ospruckna delsträckorna på E6 och E45.

På den spruckna delsträckan på E6 var borrhärdorna kompakta och hela vid upptagning. Sprickorna var inte lika utvecklade som på den spruckna delsträckan på E45 och påverkade främst slitlagret utan att ha propagerat ner till bindlagret, se Figur 13.



Figur 13: Borrhärdor från E6 spruckna. Den vänstra figuren visar sprickan (röd markering). Figuren i mitten visar lageruppbyggnaden för en borrhärdor i hjulspår där sprickor förekommer. Figuren till höger visar Ø150 mm borrhärdor mellan hjulspår där sprickor ej förekommer.

På E6 referens var borrhärdorna kompakta och hela vid upptagning. De uppvisade minimal porighet och klistringen var bra mellan lagren. I de flesta fall var gränserna mellan lagren svår att urskilja, se Figur 14.



Figur 14: Borrkärnor från E6 referens. Den vänstra bilden visar hur slitlagret ser ut. Bilden i mitten visar lageruppbyggnaden för en borrkärna i hjulspår. Bilden till höger visar Ø150 mm borrkärnor mellan hjulspår.

På E45 sprucken uppvisade borrkärnorna från hjulspåret bristande sammanhållning och föll sönder vid upptagningen. Detta skedde främst i slitlagret som i två av tre fall separerades helt. Det observerades även bristande klistring mellan slit- och bindlager samt mellan bindlager och det bundna bärlager, se Figur 15. På denna delsträcka var sprickorna mer omfattande och hade i vissa fall börjat påverka bindlagret också. Det var även enklare att urskilja gränserna mellan lagren, se höger bild i Figur 15.



Figur 15: Borrkärnor från E45 sprucken. Den vänstra bilden visar komplett sönderfall av slitlagret. Bilden i mitten visar lageruppbyggnaden där det har varit bristande klistring vilket har resulterat i separation mellan lagren. Bilden till höger visar Ø150 mm borrkärnor mellan hjulspår där sprickor ej förekommer.

På E45 referens var borrkärnorna kompakta och hela vid upptagning, både i och mellan hjulspåren. Dock uppvisade Ø 150 mm borrkärnorna lite porighet i bindlagret som syns i den högra bilden i Figur 16.



Figur 16: Borrkärnor från E45 referens. Den vänstra bilden visar hur slitlagret ser ut. Bilden i mitten visar lageruppbyggnaden för en borrkärna i hjulspår. Bilden till höger visar Ø150 mm borrkärnor mellan hjulspår.

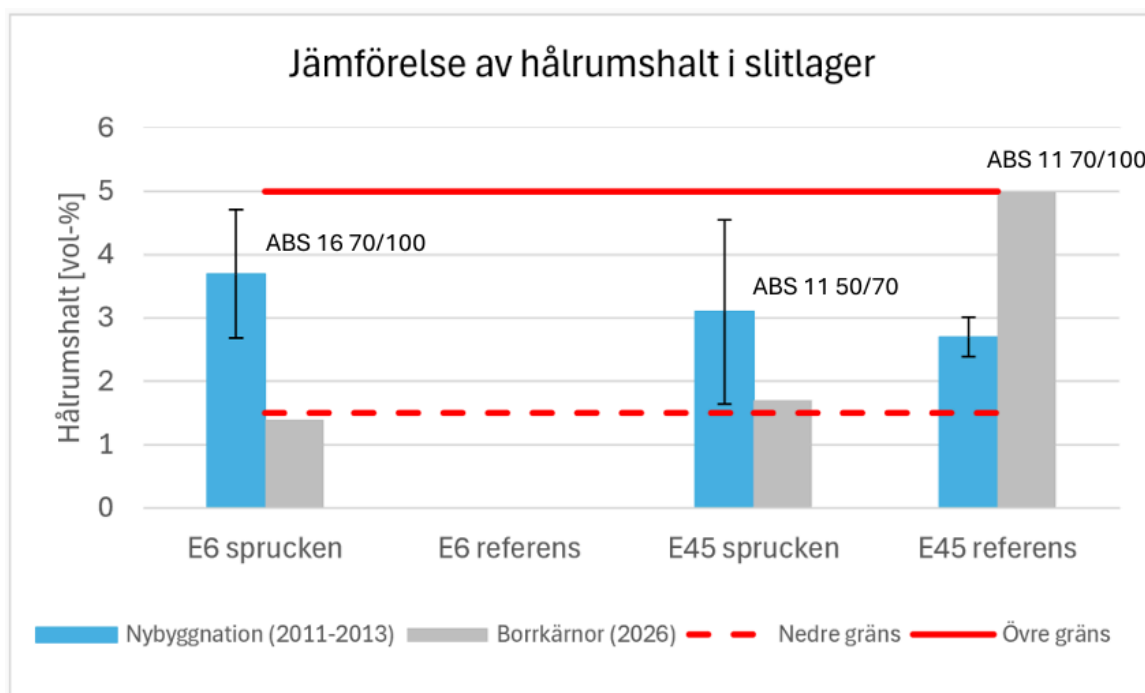
4.3. Jämförelse av materialdata vid nybyggnation och prover 2026

I detta avsnitt jämförs resultaten för olika parametrar mellan nybyggnationåren och provtagningen 2026.

4.3.1. Hålrums halt

Figur 17 visar hålrums halten vid nybyggnation och i analyserade borrkärnor från 2026 för slitlagret på samtliga delsträckor. Värdena redovisas i förhållande till Trafikverkets kravgränser för hålrums halt vid nybyggnation, vilka för slitlagret ligger mellan 1,5 och 5,0 vol-%. De svarta felstaplarna visar standardavvikelsen (SD) för nybyggnationens kvalitetskontroll och beskriver spridningen mellan de analyserade proverna. En högre SD innebär att hålrums halten varierar mer mellan de analyserade proverna, medan en lägre SD innebär att hålrums halten är mer jämn och nära varandra mellan proverna.

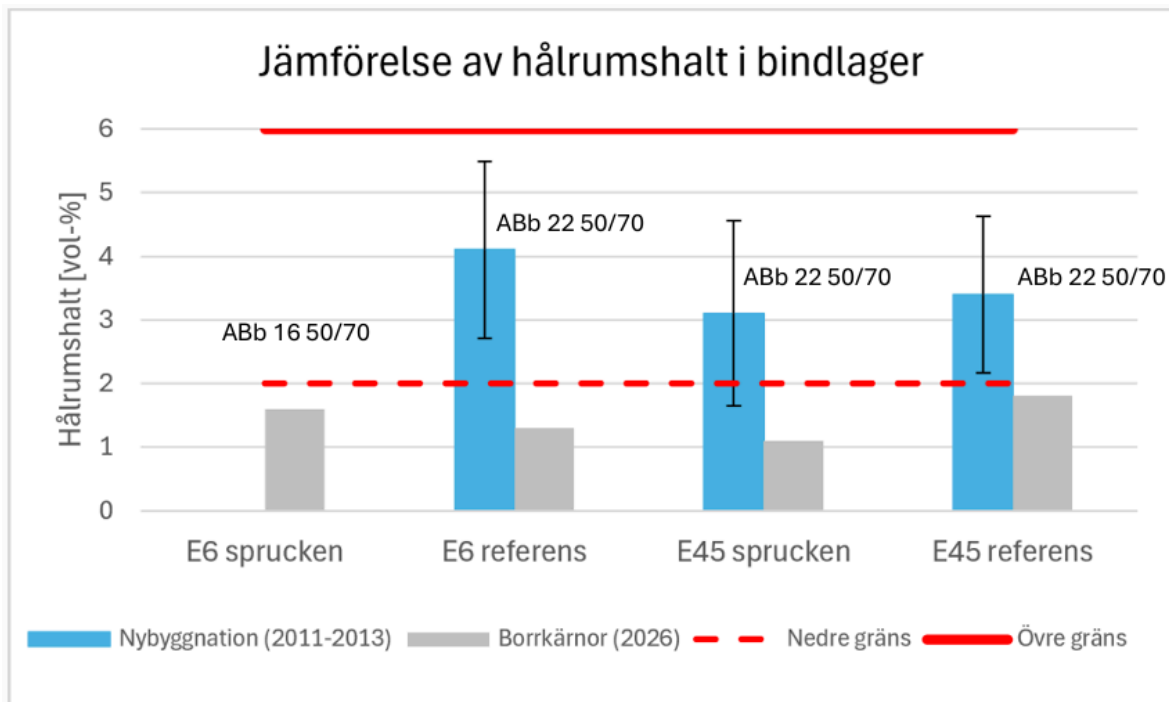
De spruckna delsträckorna, E6 sprucken och E45 sprucken, uppvisar större SD än referenssträckan E45 referens, vilket innebär en större variation i hålrums halt. Den största spridningen finns på E45 sprucken ($SD \pm 1,5$ vol-%), följt av E6 sprucken ($SD \pm 1,0$ vol-%). Den lägsta spridningen finns på E45 referens ($SD \pm 0,3$ vol-%). Trots den relativt stora variationen i hålrums halt ligger merparten av de analyserade proverna inom Trafikverkets kravgränser för slitlagret. För E6 referens saknas data från både nybyggnationens kvalitetskontroll och de uttagna borrkärnorna från 2026, eftersom ingen provning på hålrums halt har utförts på TSK-lagret.



Figur 17: Jämförelse av hålrums halt i slitlager vid nybyggnation och i analyserade borrkärnor från 2026. Blå staplar visar medelvärdet av hålrums halten från nybyggnationens kvalitetskontroll, medan grå staplar visar ett provresultat för hålrums halt från 2026. De svarta felstaplarna visar standardavvikelsen. De röda linjerna visar nedre respektive övre kravgräns för hålrums halten vid nybyggnation. Antal analyserade prover vid nybyggnation var 10 för E6 sprucken, 8 för E45 sprucken och 5 för E45 referens.

Vid jämförelse med hålrums halten från de uttagna borrkärnorna 2026 har hålrums halten minskat på de spruckna delsträckorna men ökat på E45 referens. På E6 sprucken har hålrums halten minskat till 1,4 vol-% och på E45 sprucken till 1,7 vol-%. På E45 referens har hålrums halten däremot ökat till 5,0 vol-%.

Motsvarande jämförelse för bindlagret redovisas i Figur 18, som visar hålrums halten vid nybyggnation och i analyserade borrkärnor från 2026 för samtliga delsträckor. Vid nybyggnation uppvisar samtliga delsträckor en medelhålrums halt som varierar mellan 3,1 och 4,1 vol-%. Enligt Trafikverkets kravgränser ska hålrums halten i bindlagret ligga mellan 2 och 6 vol-%. Variationen mellan proverna vid nybyggnation är relativt likartad för delsträckorna, med $SD \pm 1,4$ vol-% för E6 referens, $SD \pm 1,5$ vol-% för E45 sprucken och $SD \pm 1,2$ vol-% för E45 referens. Även för bindlagret ligger merparten av de analyserade proverna inom Trafikverkets kravgränser. För E6 sprucken saknas data från nybyggnationens kvalitetskontroll.

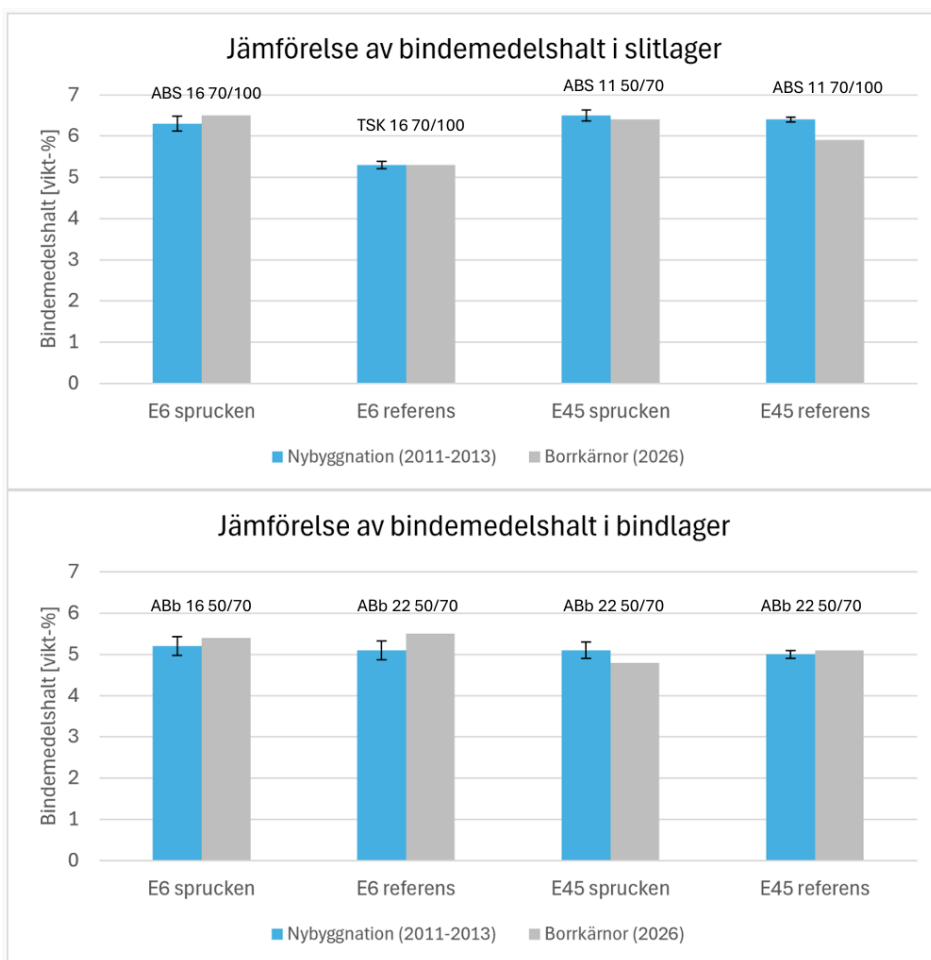


Figur 18: Jämförelse av hålrums halt i bindlager vid nybyggnation och i analyserade borrkärnor från 2026. Blå staplar visar medelvärde av hålrums halten från nybyggnationens kvalitetskontroll, medan grå staplar visar ett provresultat för hålrums halt från 2026. De svarta felstaplarna visar standardavvikelsen. De röda linjerna visar nedre respektive övre kravgräns för hålrums halten vid nybyggnation. Antal analyserade prover vid nybyggnation var 14 för E6 referens, 8 för E45 sprucken och 5 för E45 referens.

Vid jämförelse med hålrums halten från de uttagna borrkärnorna 2026 har hålrums halten minskat på samtliga delsträckor. E6 sprucken hade en hålrums halt på 1,6 vol-%, medan E6 referens hade en hålrums halt på 1,3 vol-%. På E45 sprucken uppmättes en hålrums halt på 1,1 vol-%, medan E45 referens uppvisade den högsta hålrums halten på 1,8 vol-%. Se Bilaga B för en detaljerad redovisning av individuella hålrums värden för slit- och bindlager vid nybyggnation.

4.3.2. Bindemedelshalt

Figur 19 visar bindemedelshalten vid nybyggnation och i analyserade borrkärnor från 2026 för både slit- och bindlager. De blå staplarna visar medelvärde av bindemedelshalten från nybyggnationen, medan de grå staplarna visar bindemedelshalten från borrkärnor uttagna 2026. Felstaplarna visar standardavvikelsen för nybyggnationens kvalitetskontroll.



Figur 19: Jämförelse av bindemedelshalt i slit- och bindlager. Blå staplar visar medelvärdet av bindemedelshalten vid nybyggnation medan grå staplar visar ett provresultat på bindemedelshalt från 2026. De svarta felstaplarna visar standardavvikelsen. Antal analyserade prover vid nybyggnation för slitlagret var 7 för E6 sprucken, 5 för E6 referens, 5 för E45 sprucken och 3 för E45 referens. För bindlagret var motsvarande antal 8 för E6 sprucken, 16 för E6 referens, 8 för E45 sprucken och 5 för E45 referens.

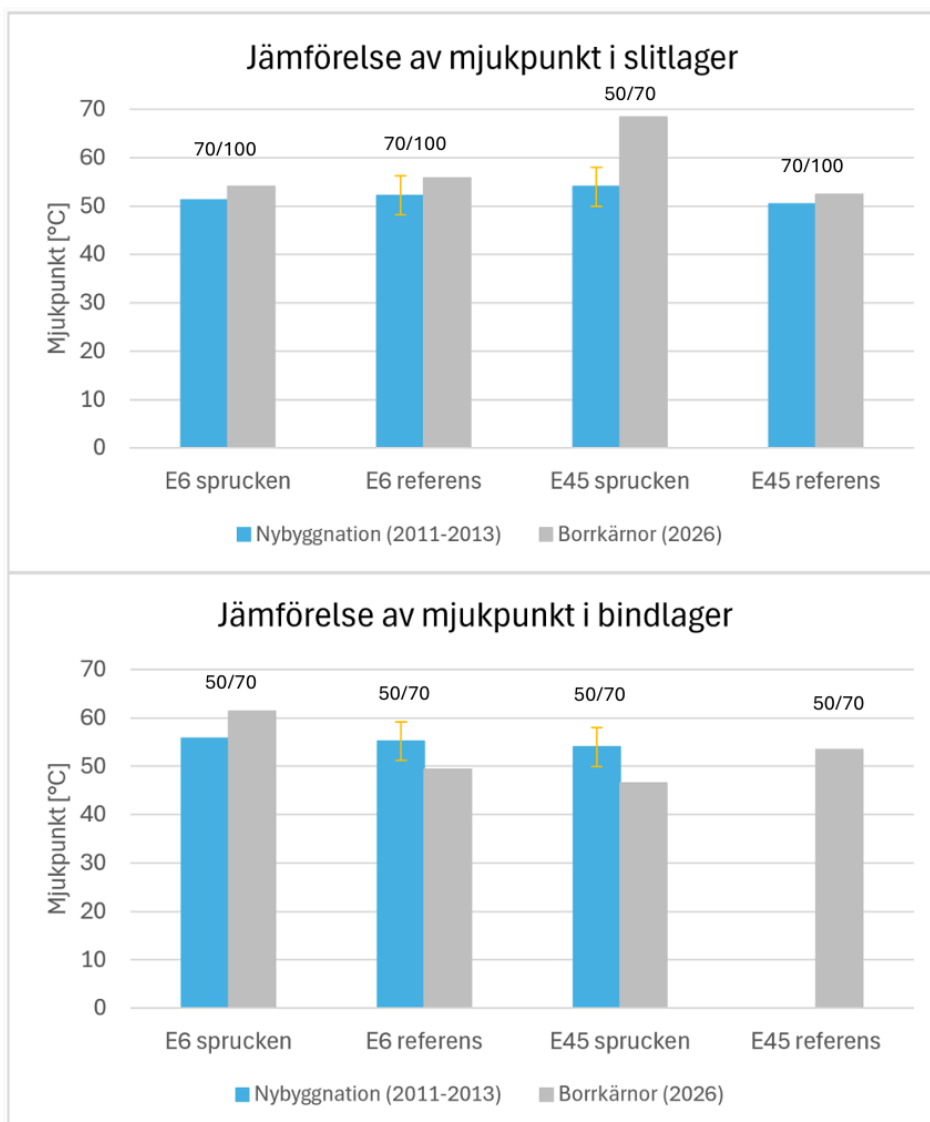
För slitlagret varierar medelvärdet av bindemedelshalten vid nybyggnation mellan mellan 5,3 och 6,5 vol-%. Variationen mellan proverna för samtliga delsträckor är likartad med den största SD på E6 sprucken där den ligger på $\pm 0,2$ och $\pm 0,1$ för resterande delsträckor. Vid jämförelse med bindemedelshalten från de uttagna borrkärnorna 2026 har bindemedelshalten ökat från 6,3 till 6,5 vikt-% på E6 sprucken, varit oförändrad på 5,3 vikt-% på E6 referens, minskat från 6,5 till 6,4 vikt-% på E45 sprucken samt minskat från 6,4 till 5,9 vikt-% på E45 referens.

För bindlagret varierar medelvärdet av bindemedelshalten vid nybyggnation mellan 5,0 och 5,2 vikt-%. Variationen mellan proverna är relativt låg och likartad mellan delsträckorna, med SD mellan $\pm 0,1$ och $\pm 0,2$ vikt-%. Vid jämförelse med bindemedelshalten från de uttagna borrkärnorna 2026 har bindemedelshalten ökat från 5,2

till 5,4 vikt-% på E6 sprucken, från 5,1 till 5,5 vikt-% på E6 referens. På E45 sprucken har den minskat från 5,1 till 4,8 vikt-% och ökat från 5,0 till 5,1 vikt-% på E45 referens. Se Bilaga C för en detaljerad redovisning av individuella bindemedelsvärden för slit- och bindlager vid nybyggnation.

4.3.3. Mjukpunkt

Figur 20 visar mjukpunkten vid nybyggnation och 2026 för de undersökta delsträckorna. För E6 referens och E45 sprucken saknades exakta värden för mjukpunkten vid nybyggnation. Till skillnad från tidigare figurer representerar felstaplarna inte standardavvikelsen mellan analyserade prover, utan det beräknade intervallet för den uppskattade mjukpunkten vid nybyggnation. För dessa delsträckor redovisas därför ett beräknat intervall med felstaplar. En mer detaljerad beskrivning av beräkningsmetoden förklaras i avsnitt 3.8.



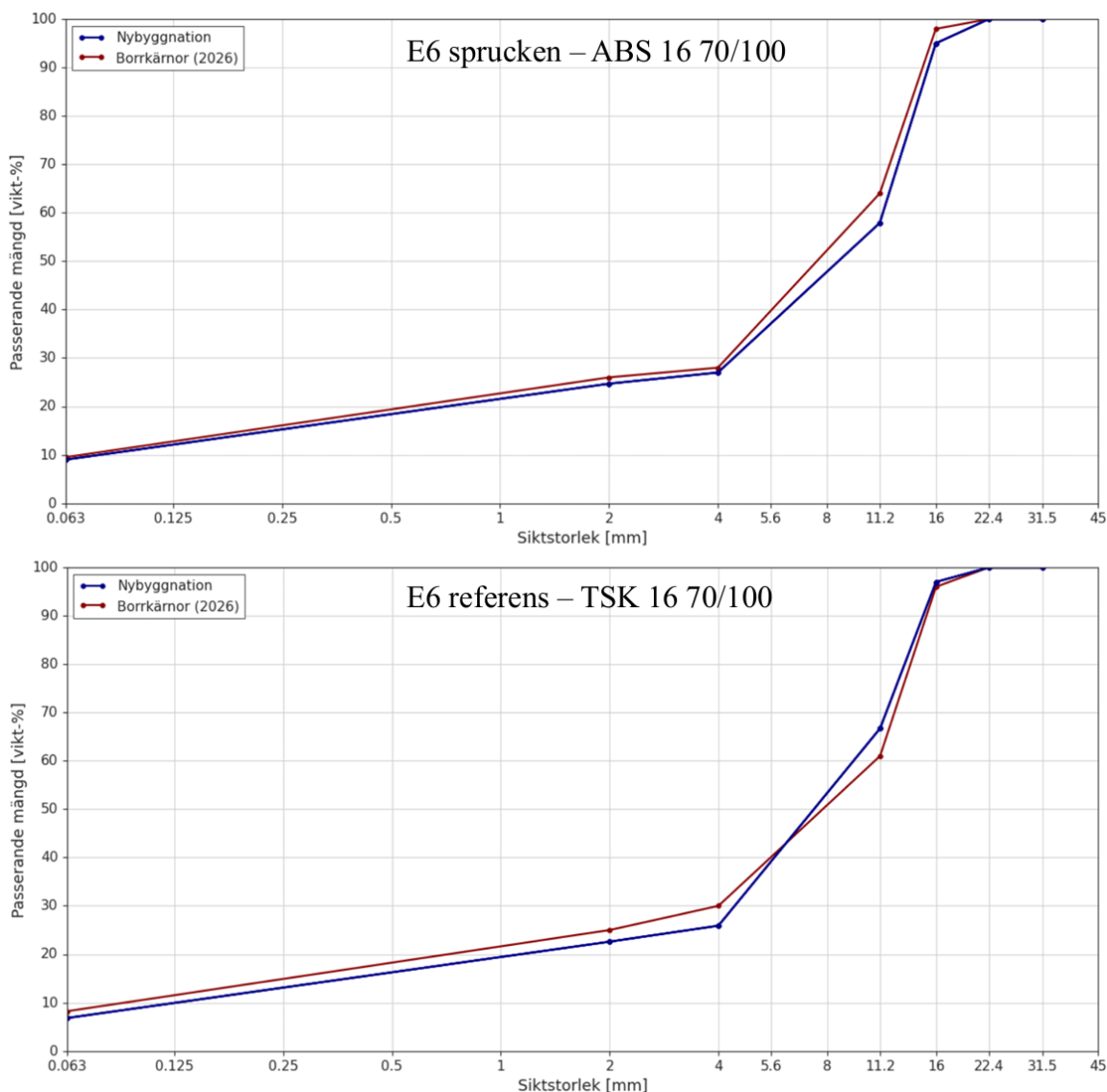
Figur 20: Jämförelse mellan mjukpunkt i slit- och bindlager vid nybyggnation och 2026. Felstapeln visar beräknat intervall för mjukpunkten.

I slitlagret har mjukpunkten för E6 sprucken ökat från 51,2 °C till 54,0 °C, vilket motsvarar en ökning på 2,8 °C. För E6 referens ligger mjukpunkten 2026 på 55,8 °C, vilket ligger inom det beräknade intervallet 48,2–56,2 °C från nybyggnation. E45 sprucken uppvisar den högsta mjukpunkten av samtliga delsträckor med 68,4 °C, vilket är 10,4 °C över den övre gränsen i det beräknade intervallet från nybyggnation (50,0–58,0 °C). För E45 referens har mjukpunkten ökat från 50,4 °C till 52,4 °C, vilket motsvarar en ökning på 2,0 °C.

För bindlagret har mjukpunkten för E6 sprucken ökat från 55,8 °C till 61,4 °C, vilket motsvarar en ökning på 5,6 °C. För E6 referens har mjukpunkten minskat från det beräknade nybyggnadsvärdet 55,2 °C till 49,4 °C, vilket motsvarar en minskning på 5,8 °C. För E45 sprucken har mjukpunkten minskat från det beräknade nybyggnadsvärdet 54,0 °C till 46,6 °C, vilket motsvarar en minskning på 7,4 °C. För E45 referens saknas nybyggnadsvärde för bindlagret men mjukpunkten 2026 uppgår till 53,4 °C. Jämförelse av delsträckorna på E6 visar E6 sprucken en ökad mjukpunkt i både slit- och bindlager. E6 referens uppvisar däremot små förändringar i slitlagret samtidigt som mjukpunkten i bindlagret är 5,8 °C lägre än det beräknade nybyggnadsvärdet.

4.3.4. Kornstorleksfördelning

Kornstorleksfördelningen i slitlagret för delsträckorna på E6 redovisas i Figur 21. Figuren visar den passerande mängden stenmaterial vid nybyggnation och i analyserade borrhärdar från 2026 för både den spruckna sträckan och referenssträckan. Kornstorleksfördelningen vid nybyggnation och i analyserade borrhärdar från 2026 redovisas som kornkurvor för respektive delsträcka.



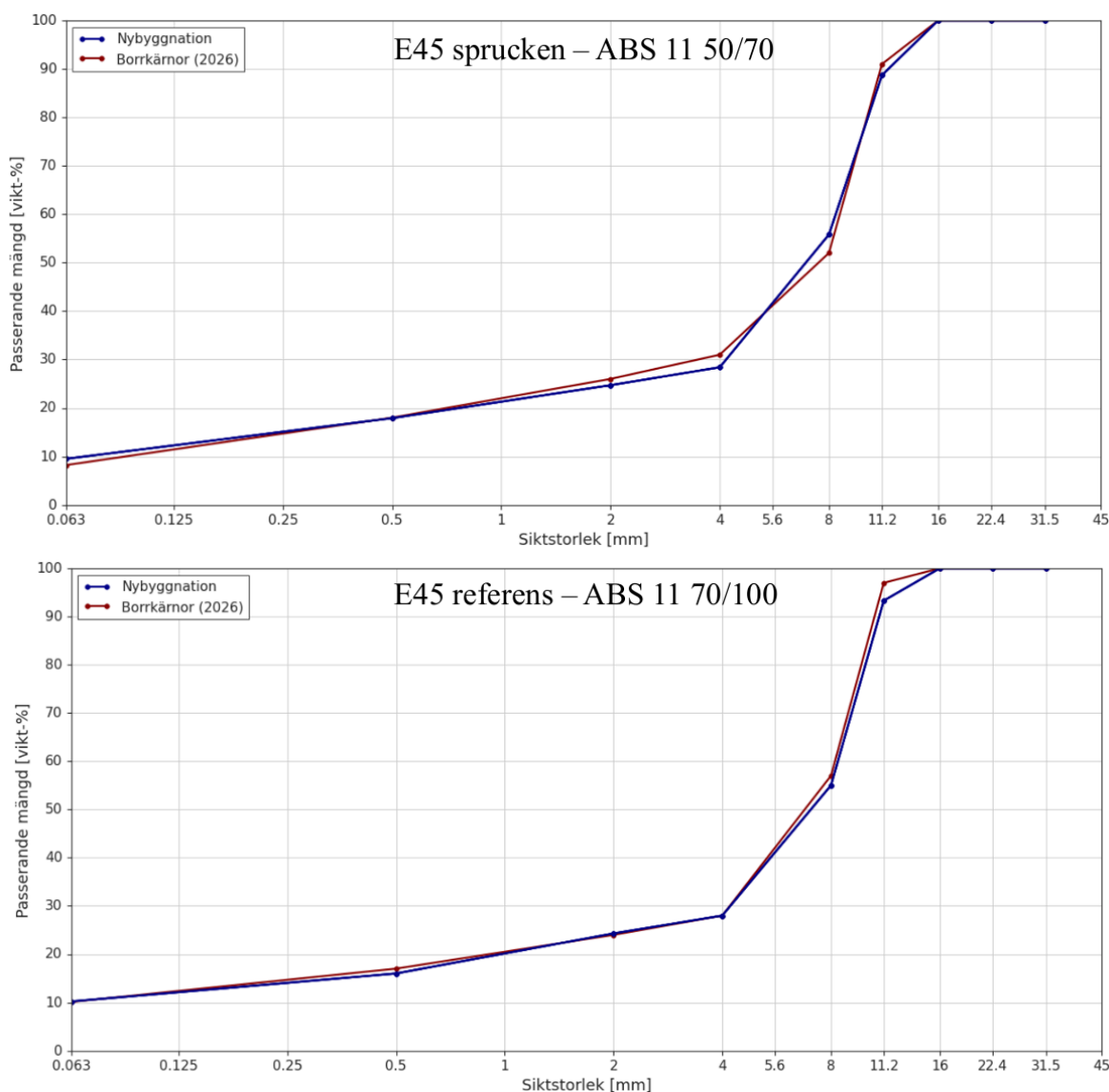
Figur 21: Jämförelse av kornstorleksfördelningen i slitlager på E6 mellan medelvärdet från nybyggnationens kvalitetskontroll och ett provresultat från analyserade borrkärnor 2026.

För E6 sprucken är kornstorleksfördelningen välgraderad. Vid nybyggnation är fillerhalt 9,0 vikt-% linje och kornstorleksfördelningen ligger inom Trafikverkets kravgränser. Vid jämförelse med proverna från 2026 har fillerhalten ökat något, från 9,0 till 9,5 vikt-%. Kornkurvan för 2026 har förskjutits åt vänster om kurvan från nybyggnation, vilket innebär något finare kornstorleksfördelning i proverna från 2026.

För E6 referens är kornstorleksfördelningen också välgraderad. Vid nybyggnation är fillerhalten 6,8 vikt-% och även här ligger kornstorleksfördelningen inom Trafikverkets kravgränser. Vid jämförelse med proverna från 2026 har fillerhalten ökat lite mer, från 6,8 till 8,2 vikt-%. Kornkurvan för 2026 har både förskjutits åt vänster och höger vilket innebär både högre och lägre passerande mängder jämfört med nybyggnation. Kornkurvorna korsar varandra mellan 5,6 och 8 mm. För siktstorlekar mindre än 5,6 mm

ligger kurvan från 2026 till vänster om nybyggnationens kurva, medan vid större siktstorlekar än 5,6 mm ligger den till höger.

Motsvarande jämförelse görs för delsträckorna på E45, se Figur 22.



Figur 22: Jämförelse av kornstorleksfördelningen i slitlager på E45 mellan medelvärdet från nybyggnationens kvalitetskontroll och ett provresultat från analyserade borrkärnor 2026.

För E45 sprucken är kornstorleksfördelningen välgraderad. Vid nybyggnation uppgår fillerhalten till 9,3 vikt-%. Vid jämförelse med proverna från 2026 har fillerhalten minskat till 8,2 vikt-%. Kornkurvorna är i övrigt relativt likartade, med mindre skillnader främst vid siktstorlekar mellan 2, 4 och 11,2 mm.

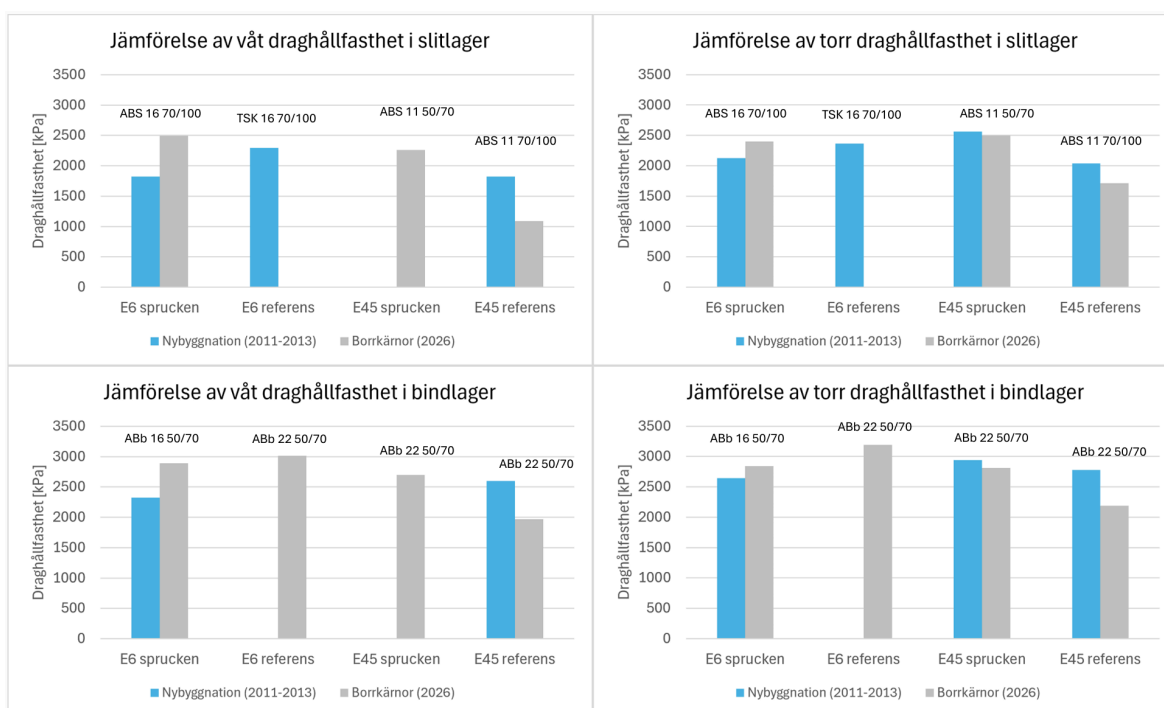
För E45 referens är kornstorleksfördelningen välgraderad. Vid nybyggnation uppgår fillerhalten till 10,2 vikt-%, vilket är i princip oförändrat jämfört med proverna från 2026

där fillerhalten uppgår till 10,1 vikt-%. Kornkurvorna överensstämmer väl över hela siktintervallet och är den delsträcka som visar minst skillnad mellan nybyggnation och proverna från 2026.

Bland delsträckorna med ABS-beläggning uppvisar E45 referens den högsta fillerhalten vid nybyggnation (10,2 vikt-%), medan E6 sprucken och E45 sprucken uppvisar fillerhalter på 9,0 respektive 9,3 vikt-%. Både vid nybyggnation och i de analyserade borrhämnarna från 2026 uppvisar de spruckna delsträckorna lägre fillerhalter än E45 referens. Se Bilaga D för en detaljerad redovisning av värden för slit- och bindlager.

4.3.5. Vattenkänslighet

Figur 23 visar våt och torr draghållfasthet i slit- och bindlager vid nybyggnation och i analyserade borrhämnar från 2026. Vid jämförelse av resultaten bör det beaktas att E6 referens vid nybyggnation består av Marshallpackade prover. För E45 referens har pressdragprovet 2026 utförts på borrhämnar bestående av både slitlager och justeringslager, vilket kan påverka resultaten.



Figur 23: Jämförelse av våt och torr draghållfasthet i slit- och bindlager vid nybyggnation och i analyserade borrhämnar från 2026.

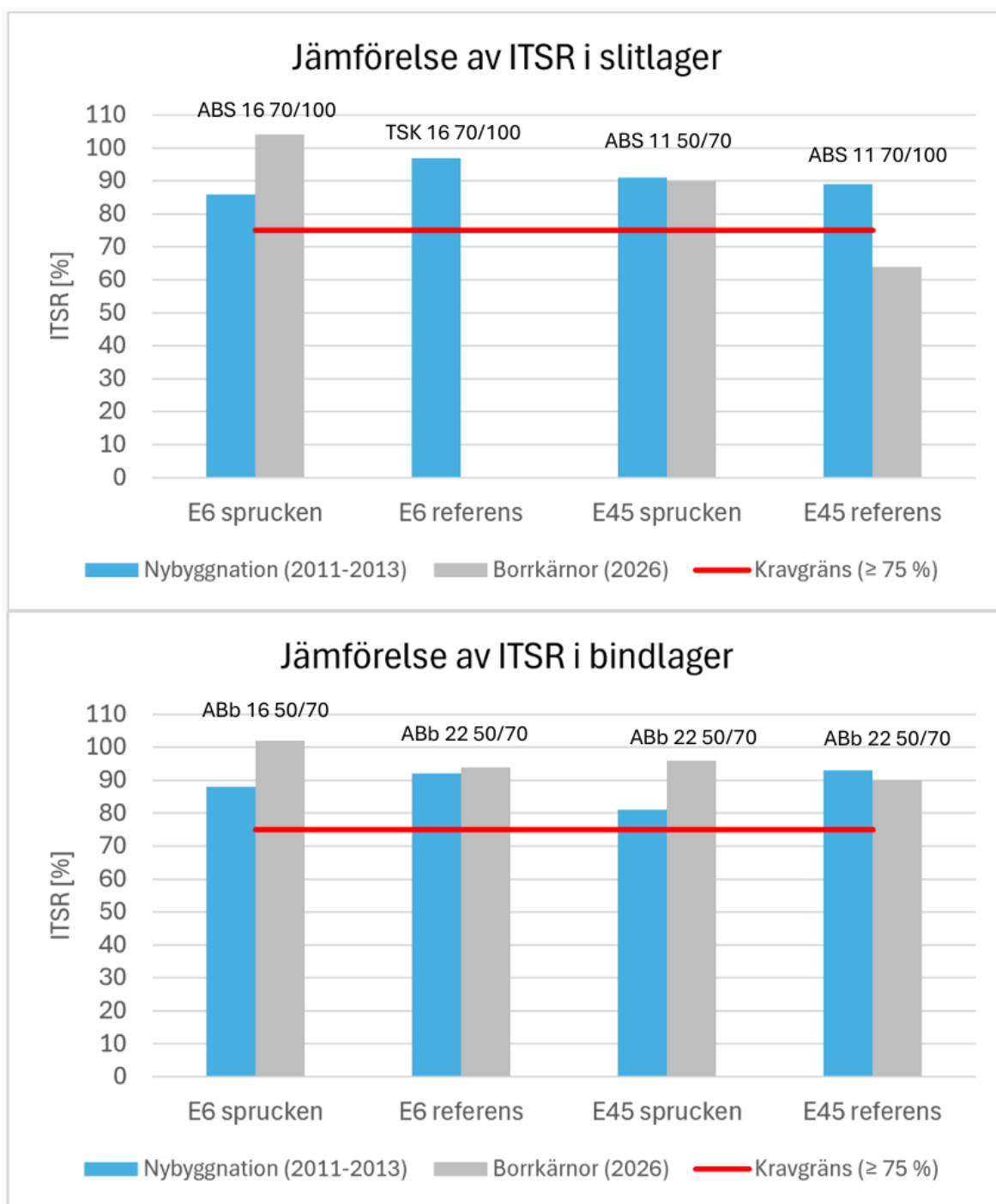
För slitlagret uppgår den våta draghållfastheten vid nybyggnation till cirka 1800 kPa för E6 sprucken, 2300 kPa för E6 referens och 1800 kPa för E45 referens. I jämförelse med proverna från 2026 har den våta draghållfastheten på E6 sprucken ökat till cirka 2500 kPa, 2300 kPa för E45 sprucken och minskat till ungefär 1100 kPa för E45 referens.

Den torra draghållfastheten i slitlagret uppgår vid nybyggnation till cirka 2100 kPa för E6 sprucken, 2400 kPa för E6 referens, 2600 kPa för E45 sprucken och 2000 kPa för E45 referens. I proverna från 2026 har den torra draghållfastheten ökat till cirka 2400 kPa för E6 sprucken, minskat till 2500 kPa för E45 sprucken och minskat till 1700 kPa för E45 referens.

För bindlagret uppgår den våta draghållfastheten vid nybyggnation till cirka 2300 kPa för E6 sprucken och cirka 2600 kPa för E45 referens. För E6 referens och E45 sprucken saknas jämförbara värden från nybyggnation. I proverna från 2026 uppgår den våta draghållfastheten till cirka 2900 kPa för E6 sprucken, 3000 kPa för E6 referens, 2700 kPa för E45 sprucken och 2000 kPa för E45 referens. Jämfört med nybyggnation har den våta draghållfastheten ökat för E6 sprucken, medan den har minskat för E45 referens.

Den torra draghållfastheten uppgår vid nybyggnation till cirka 2600 kPa för E6 sprucken, 2900 kPa för E45 sprucken och 2800 kPa för E45 referens. I proverna från 2026 har den torra draghållfastheten ökat till cirka 2800 kPa för E6 sprucken, 3200 kPa för E6 referens, minskat till cirka 2800 kPa för E45 sprucken och minskat till cirka 2200 kPa för E45 referens. Se Bilaga E för en detaljerad redovisning av värden på draghållfasthet.

Utifrån resultaten från pressdragprovningen har ITSr beräknats. Resultaten redovisas i Figur 24.



Figur 24: Jämförelse av ITSR i slit- och bindlager vid nybyggnation och i analyserade borrhärnor från 2026. Den röda linjen markerar Trafikverkets kravgräns för ITSR vid nybyggnation.

Vid nybyggnation uppfyller samtliga delsträckor Trafikverkets krav på $\text{ITSR} \geq 75\%$ för både slit- och bindlager. ITSR-värdena vid nybyggnation varierar mellan 81 och 97 % för de undersökta delsträckorna. Se bilaga E för mer detaljerade värden.

4.3.6. Okulär bedömning av brottyta efter pressdragprovning

I samband med provning av draghållfasthet på borrhållarna gjordes en okulär bedömning av borrhållarna. Detta inkluderade till exempel om brottet sker i bindemedel–bindemedel eller sten–sten. För de spruckna delsträckorna observerades även brott mellan sten och bindemedel men som inte redovisas av tabellerna nedan. Utöver detta kontrollerades hur väl stenarna var täckta med bindemedel samt om det förekom helt eller delvis avklädda stenar, se Tabell 10 och 11.

Tabell 10: Brotttyp och avklädda stenar i slitlager.

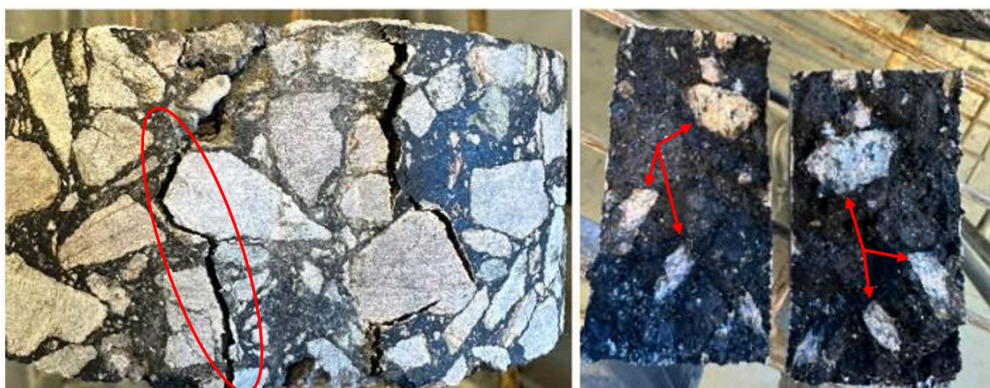
Delsträcka	Helt avklädda stenar	Delvis avklädda stenar	Brott i bindemedel	Brott i sten
E6 sprucken	ja	ja	ja	ja
E6 referens	–	–	–	–
E45 sprucken	ja	ja	ja	ja
E45 referens	ja	ja	ja	ja

Tabell 11: Brotttyp och avklädda stenar i bindlager.

Delsträcka	Helt avklädda stenar	Delvis avklädda stenar	Brott i bindemedel	Brott i sten
E6 sprucken	ja	ja	ja	ja
E6 referens	nej	nej	ja	ja
E45 sprucken	ja	ja	ja	ja
E45 referens	nej	nej	ja	ja

På samtliga delsträckor observerades brott i bindemedel, brott i sten samt brott mellan sten och bindemedel. I slitlagret förekom delvis och helt avklädda stenar på båda spruckna delsträckorna men även på E45 referens, se Tabell 13. För E6 referens kunde ingen okulär bedömning av borrhållarna i slitlagret göras då ingen pressdragprovning genomförs på TSK-lagret.

I bindlagret observerades däremot avklädda stenar endast på de spruckna delsträckorna. På referenssträckorna var stenarna i bindlagret täckta med bindemedel, se Tabell 14. Några exempel på brottyper samt avklädda stenar redovisas i Figur 25.

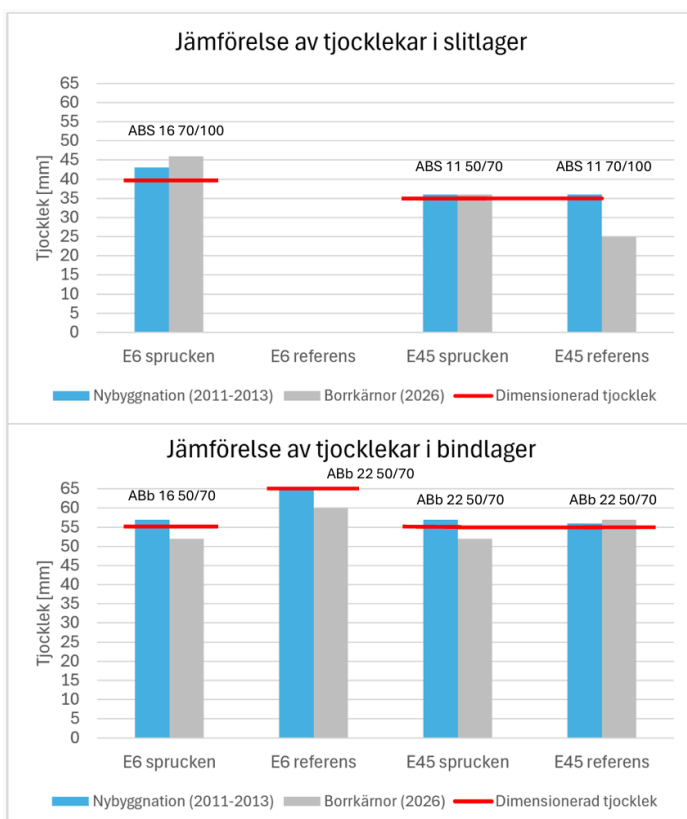


Figur 25: Exempel från den okulära bedömningen efter pressdragprovning. Den röda markeringen (vänster bild) visar brott mellan sten och bindemedel, medan de röda pilarna (höger bild) markerar avklädda stenar.

Resultaten från den okulära bedömningen efter pressdragprovningen visar att samtliga brottyper förekommer på alla delsträckor. För de spruckna delsträckorna däremot var brott mellan sten och bindemedel den vanligaste brottypen. På dessa delsträckor observerades även avklädda stenar i både slit- och bindlagret.

4.3.7. Tjocklekar

Figur 26 visar lagertjockleken i slit- och bindlager vid nybyggnation och i analyserade borrhärdor från 2026. Den dimensionerade lagertjockleken redovisas som referens.



Figur 26: Jämförelse av tjocklek i slit- och bindlager vid nybyggnation och i analyserade borrhärdor från 2026. De röda linjerna visar den dimensionerade lagertjockleken vid nybyggnation.

För slitlagret uppgår medelvärde av tjockleken vid nybyggnation till 43 mm för E6 sprucken samt 36 mm för E45 sprucken och E45 referens. De uppmätta tjocklekarna i borrhärnorna från 2026 uppgår till 46 mm för E6 sprucken, 36 mm för E45 sprucken och 25 mm för E45 referens.

För bindlagret uppgår medelvärde av tjockleken vid nybyggnation till 57 mm för E6 sprucken, 65 mm för E6 referens, 57 mm för E45 sprucken och 56 mm för E45 referens. De uppmätta tjocklekarna i borrhärnorna från 2026 uppgår till 52 mm för E6 sprucken, 60 mm för E6 referens, 52 mm för E45 sprucken och 57 mm för E45 referens. Samtliga delsträckor uppfyller kraven för tillåten avvikelse i lagertjocklek vid nybyggnation. Se bilaga F för detaljerade för tjocklekar vid nybyggnation.

4.4. Skillnader i materialval och utförande

4.4.1. Stenmaterial

Nedan redovisas det stenmaterial och dess egenskaper som har använts i slitlagret i de studerade delsträckorna. Sammanställningen avser det speciella stenmaterialet (>4 mm) i slitlagret och presenteras i Tabell 12.

Tabell 12: Egenskaper för speciellt stenmaterial (>4 mm) i slitlager.

Parameter	E6 sprucken	E6 referens	E45 sprucken	E45 referens
Stentyp	Kvartsit	Porfyr	Kvartsit	Porfyr
Halt vikt-%	75	72	71	72
Korndensitet (g/cm ³)	2,65	2,72	2,64	2,71
FI	9	9	15	12
KKV	5,4	5,4	6,1	5,1
LA	12	12	14	12

Stenmaterialets egenskaper visar små variationer i korndensitet, FI och LA-värdet. Den tydligaste skillnaden är stentypen, där kvartsit används på de spruckna delsträckorna och porfyr på referenssträckorna. Samtliga värden är godkända.

4.4.2. Tillsatsmedel

Tillsatsmedel som har använts i de studerade delsträckorna har sammanställts endast för slitlager och bindlager. Detta eftersom sprickbildningen alltid börjar i slitlagret och inga sprickor förekommer i underliggande lager. Tillsatsmedel och andel (%) för de studerade delsträckorna redovisas i Tabell 13.

Tabell 13: Sammanställning av tillsatsmedel för studerade delsträckor.

Lager	Parameter	E6 sprucken	E6 referens	E45 sprucken
Slitlager	Viatop (0,3 %), Terra E (1,0 %)	Släckt kalk (1,0%), C-fiber (0,1%)	Arbocel Fiber 0,3 % Terraflex E. 1,0 % NBS (3% av bmh)	Släckt kalk (1,0%), C-fiber (0,3%)
Bindlager	Terra G (1,0%)	Släckt kalk (1,0%), C-fiber (0,15%)	Wetfix (0,4%)	Släckt kalk (1,0%), C-fiber (0,2%)

Tillsatsmedlen utgörs främst av fibrer, vidhäftningsmedel och vax. Viatop, Arbocel och C-fiber är fibrer. Terra E, Terra G och släckt kalk är kalkbaserade vidhäftningsmedel, medan Wetfix är ett kemiskt vidhäftningsmedel. NBS är en vaxbaserad tillsats.

Tillsatsmedlen på de ospruckna delsträckorna utgörs främst av släckt kalk och C-fibrer i liknande mängder för båda delsträckorna. På de spruckna delsträckorna förekommer däremot en mer varierad tillsättning av medel. På exempelvis E45 sprucken används en kombination av fibrer, vidhäftningsmedel och vax.

4.4.3. Klistring mellan lagren vid nybyggnation

Klistringen på de spruckna delsträckorna har utförts med konventionell läggarutrustning, medan referenssträckorna har utförts med självklistrande läggare enligt tillgängliga uppgifter från utförande entreprenör.

4.5. Fördjupad provning på E45 sprucken

Utöver de vanliga proverna som gjordes mellan hjulspåren på samtliga delsträckor valdes det även att göra kompletterande provning i hjulspåret på E45 sprucken där omfattande sprickor förekom. Vid den okulära besiktningen av borrhärdarna från hjulspåret observerades att bindlagret bestod av mycket slitet och nedbrutet material, se Figur 27.



Figur 27: Borrhärd i hjulspår där slitlagret har separerats från bindlagret till följd av sprickbildning. Det översta synliga lagret i figuren är bindlagret.

För att vidare analysera detta utfördes ytterligare provning av bindemedelshalt, kornkurva och mjukpunkt i bindlagret från borrhärnorna som togs upp i hjulspåret. Detta gjordes eftersom sprickorna på denna delsträcka var så pass omfattande att vatten har infiltrerat ner i bindlagret. Resultaten jämförs med tidigare prover för att se hur parametrarna skiljer sig och vilken påverkan vatteninfiltration genom sprickorna har haft, se Tabell 14.

Tabell 14: Sammanställning av bindemedelshalt, mjukpunkt och kornstorleksfördelning för tre prover i bindlagret från borrhärnor i hjulspår där sprickor förekommer på E45.

Prov	Bindemedelshalt (vikt-%)	Mjukpunkt (°C)	0,063	2	4	8	11,2	16	22,4
1	3,7	48,8	7,2	22	24	30	39	58	92
2	3,4	51,0	7,1	20	22	27	32	48	83
3*	4,6	47,2	6,6	26	30	40	48	67	94

* För prov 3 togs cirka halva borrhärnan i sprucken beläggning och resterande del i oskadad beläggning.

Bindemedelshalten för borrhärnorna i bindlagret mellan hjulspår ligger runt 5 vikt-%, se Figur 24. För borrhärnorna i hjulspår har bindemedelshalten minskat för alla. Den största minskningen observeras för prov 1 och 2, vilka togs direkt på omfattande sprickor där slitlagret hade separerats från bindlagret och borrhärnorna föll sönder vid upptagning. Prov 3 uppvisar också en minskning av bindemedelshalten men inte lika mycket som prov 1 och 2. Vid jämförelse med provning vid nybyggnation och arbetsrecept för bindlagret har prov 1 och 2 lägre andel grövre fraktioner samtidigt som fillerhalten ökat något, medan prov 3 ligger närmare ursprungliga värden. Mjukpunkten visar ungefär samma värden i jämförelse med borrhärnor uttagna mellan hjulspår.

5. Diskussion och analys

5.1. Resultatdiskussion

5.1.1. Hålrums, bindemedelshalt och kornstorleksfördelning

Den tydligaste gemensamma faktorn för de spruckna delsträckorna är egentligen inte låg bindemedelshalt, dålig vattenkänslighet eller avvikande tjocklekar, utan kan tydligare beskrivas av lokala variationer i asfaltmassans homogenitet vid nybyggnation. De spruckna delsträckorna uppvisade båda relativt stora variationer i hålrumshalten i slitlagret jämfört med referenssträckorna. Detta tyder på att asfaltmassan varit mer inhomogen på de spruckna delsträckorna redan vid byggskedet.

För E6 sprucken varierade hålrumshalten i slitlagret mellan både höga och låga värden. Det innebär att vissa delar av delsträckan varit mer kompakta medan andra delar varit mer öppna. Detta pekar mot ojämn utläggning och packning längs delsträckan. Vid provtagningen 2026 hade hålrumshalten minskat tydligt, vilket förklaras av att beläggningen efterpackats med tiden. För referenssträckan på E6 saknas hålrums halt i slitlagret eftersom provning inte utfördes på TSK-lagret, vilket gör jämförelsen på E6 något begränsad.

Skillnaderna på E45 är tydligare. På E45 sprucken uppvisades stor variation i hålrums halten, med både låga och höga värden. På E45 referens var värdena mer jämna, mellan 2–3 vol-%. Detta indikerar att de spruckna delsträckorna haft mer ojämna packningsförhållanden vid utförandet. Vid provtagningen 2026 hade hålrums halten på E45 sprucken minskat, vilket även här förklaras av efterpackningen över tid. Det som är intressant är att på E45 referens uppvisade en avvikande utveckling där hålrums halten ökat till cirka 5 vol-%. Detta går emot det förväntade mönstret och kan bero på lokala variationer i provpunkten eller osäkerheter vid provningen.

Hålrums halten i bindlagret uppvisade också variation vid nybyggnation men detta gäller för flera delsträckor och inte enbart de spruckna. Vid provtagningen 2026 låg hålrums halten i bindlagret däremot på en liknande nivå för samtliga delsträckor, omkring 1–2 vol-%. Detta tyder på att bindlagret har efterpackats med tiden på alla delsträckor. Eftersom sprickorna initierats i slitlagret är det däremot svårt att koppla variationerna i bindlagrets hålrums halt direkt till sprickbildningen.

Samtidigt skiljer sig omfattningen av sprickbildningen mellan delsträckorna där den spruckna delsträckan på E45 uppvisar omfattande sprickor längs stora delar av vägen medan den spruckna delsträckan på E6 har mer lokala och mindre omfattande sprickor. Detta gör det svårt att koppla sprickbildningen till en specifik nivå på hålrums halten då både höga och låga hålrums halter förekom på de spruckna delsträckorna.

Tidigare skadeutredningar har kopplat kombinationen av höga hålrums, låg bindemedelshalt och lägre fillerhalt till ökad risk för vatteninträngning, försämrad beständighet och risk för

sprickbildning. I detta fall låg bindemedelshalten däremot inom kravgränserna trots variationerna i hålrumshalten på de spruckna delsträckorna. Även provningen 2026 visade god bindemedelshalt på alla delsträckor med små skillnader mellan gammal och ny provning. På den spruckna delsträckan på E6 var medelvärdet vid nybyggnation 0,2 procentenheter lägre jämfört med provningen 2026, oförändrat för referenssträckan och något högre för delsträckorna på E45 jämfört med provningen 2026. Detta innebär att resultaten inte uppvisar samma tydliga samband mellan hålrum och bindemedelshalt som tidigare skadeutredningar. Problemet verkar därför snarare vara kopplat till lokal fördelning av materialet än till en generellt låg bindemedelshalt.

Även fillerhalten varierade mellan delsträckorna. På den spruckna delsträckan på E6 var fillerhalten högre än referenssträckan både vid gamla och nya prover. För den spruckna delsträckan på E45 var den dock lägre. Alltså de spruckna delsträckorna hade både högre och lägre värden i jämförelse med dess referenssträcka. Vid nybyggnation uppvisade samtliga delsträckor en välgraderad kornstorleksfördelning. Jämförelsen mellan sprucken delsträcka och referenssträcka på E6 är däremot begränsad eftersom referenssträckan består av ett TSK-slitlager medan övriga delsträckor består av ABS-massor. Om jämförelsen istället avgränsas till ABS-massorna uppvisade de spruckna delsträckorna genomgående lägre fillerhalter än referenssträckan på E45, både vid nybyggnation och vid provtagningen 2026. Detta innebär att de spruckna delsträckorna generellt haft mindre filler i förhållande till stenmaterialet jämfört med referenssträckan. Lägre fillerhalt i kombination med låg bindemedelshalt leder till mindre mastix i asfaltmassan, medan för höga fillerhalter i förhållande till bindemedelshalten kan ge en torrare asfaltmassa som är mer benägen att spricka. Den lägre fillerhalten för ABS-massorna kan ha lett till mindre mängd mastix i asfaltmassan, vilket kan ge sämre sammanhållning och tunnare bindemedelsfilm runt stenmaterialet. Detta kan göra asfaltmassan mer känslig för lokala vidhäftningsproblem och sprickbildning, särskilt i kombination med varierande hålrumshalt och styvare beläggning.

5.1.2. Mjukpunkt

Mjukpunkten uppvisar inget tydligt samband för den spruckna delsträckan på E6 men framstår som en betydligt viktigare parameter för den spruckna delsträckan på E45. Den spruckna delsträckan på E6 uppvisar endast en mindre ökning av mjukpunkten jämfört med nybyggnation och ligger fortfarande nära övriga delsträckor med bindemedel 70/100. Detta innebär att delsträckan inte uppvisar särskilt höga värden på mjukpunkten trots att sprickbildning förekommer.

Den spruckna delsträckan på E45 skiljer sig däremot tydligt från övriga delsträckor. Delsträckan uppvisar den högsta mjukpunkten av samtliga delsträckor där värdet från 2026 ligger tydligt högre än det uppskattade intervallet från nybyggnation. Detta indikerar att bindemedlet i slitlagret blivit betydligt styvare över tid till följd av oxidation och åldring. Samtidigt användes redan från början ett styvare bindemedel (50/70) i slitlagret. Utöver detta har det tillsatts vax i slitlagret vilket har en förstyvande effekt på asfaltmassan.

Kombinationen av styvt bindemedel, hög mjukpunkt och vax pekar därför mot att beläggningen på den spruckna delsträckan på E45 varit ovanligt styv och spröd. Detta blir särskilt relevant då delsträckan samtidigt uppvisade den mest omfattande sprickbildningen av samtliga studerade delsträckor. En styvare asfaltmassa kan minska deformationer och spårbildning men samtidigt ge sämre förmåga att ta upp dragspänningar från trafikbelastning. Detta syns även genom att den spruckna delsträckan på E45 hade relativt låg spårutveckling samtidigt som omfattande sprickbildning observerades i hjulspåren. Det är tydligt att en styv beläggning har prioriterats för att optimera motstånd mot deformation snarare än motstånd mot sprickor.

För bindlagret är resultaten mer svårtolkade. På sprucken delsträcka på E6 har mjukpunkten ökat något men inte till nivåer som kan betraktas som onormala. För referenssträckan på E6 och den spruckna delsträckan på E45 har mjukpunkten i bindlagret istället minskat jämfört med de uppskattade värdena från nybyggnation. Detta är ovanligt eftersom bindemedel generellt förväntas bli styvare över tid. Det är därför svårt att avgöra om skillnaderna beror på verkliga förändringar i bindemedlet eller på variationer i provtagning och provning. Mjukpunkten kan alltså inte ensam förklara sprickbildningen på båda spruckna delsträckorna. Däremot är den en tydlig bidragande parameter för den spruckna delsträckan på E45, där kombinationen av styvt bindemedel, hög mjukpunkt och vax sannolikt har bidragit till en styvare och mer sprickkänslig beläggning.

5.1.3. Vattenkänslighet och vidhäftning

De nyare proverna visar att vattenkänsligheten i princip förbättrats eller varit nästan oförändrad på de spruckna delsträckorna. På den spruckna delsträckan på E6 var ITSR över 100 % på både slitlager och bindlager, vilket motsvarar en förbättring jämfört med värdena från nybyggnation. Även på den andra spruckna delsträckan på E45 var ITSR i princip oförändrad i slitlagret. Bindlagret uppvisade också bättre eller oförändrade värden på alla delsträckor förutom referenssträckan på E45 där draghållfastheten minskat något. Lägre ITSR-värden hade varit en indikation på vidhäftningsproblem mellan bindemedel och stenmaterial men på de spruckna delsträckorna uppvisade både den torra och våta draghållfastheten istället mycket höga värden. Dessa höga värden kan delvis förklaras av att borrhärdarna vid provtagningen 2026 uppvisade låg hålrums halt samt var hela och kompakta. Lägre hålrum innebär generellt att mindre vatten kan tränga in i asfaltmassan, vilket också kan bidra till högre draghållfasthet efter vattenlagring. Vid nybyggnation uppvisade de spruckna delsträckorna däremot större variation i hålrums halten, med både höga och låga värden mellan proverna. Det är därför möjligt att vissa delar av beläggningen tidigare varit mer öppna och känsliga för vattenpåverkan jämfört med dagens tillstånd.

En viktig skillnad mellan delsträckorna är stenmaterialet. Båda spruckna delsträckorna hade kvartsit i slitlagret medan referenssträckorna hade porfyr. Båda stentyper är sura och har dåliga vidhäftningsegenskaper och en av anledningarna till att tillsatsmedel används. Däremot har kvartsit generellt sämre vidhäftning mot bitumen jämfört med porfyr. Det betyder inte att kvartsiten ensam varit den bidragande faktorn till sprickbildningen men asfaltmassan kan bli mer känslig för lokala vidhäftningsproblem om andra ogynnsamma

faktorer också finns, exempelvis vatten, höga hållrum, ojämn bindemedelsfördelning eller styvare bindemedel.

Detta syns delvis i den okulära bedömningen. På de spruckna delsträckorna observerades brott mellan sten och bindemedel samt helt eller delvis avklädda stenar. Detta indikerar att lokala vidhäftningsproblem har förekommit trots att ITSr-värdena generellt var goda. Det är därför viktigt att skilja mellan generell vattenkänslighet från laboratorieprovning och lokala vidhäftningsproblem i enskilda delar av beläggningen.

Tillsatsmedlen skiljer sig också mellan delsträckorna. På referenssträckorna användes främst släckt kalk och C-fiber i rätt liknande mängder. På de spruckna delsträckorna var tillsatsmedlen mer varierade. I slitlagret på den spruckna delsträckan på E6 användes Viatop och Terra E, samt Terra G i bindlagret. Den spruckna delsträckan på E45 innehöll Arbocel Fiber, Terraflex E, NBS i slitlagret och Wetfix bindlagret. Det går inte att avgöra exakt vilken betydelse varje tillsatsmedel haft men variationen visar ändå att de spruckna delsträckorna inte haft samma enkla och gemensamma typer av tillsatsmedel som referenssträckorna.

För sprucken delsträcka på E45 blir kombinationen särskilt intressant. Den hade redan från början ett styvare bindemedel (50/70), samtidigt som den uppvisade den högsta mjukpunkten av samtliga delsträckor. Utöver detta användes även NBS-vax i slitlagret, vilket har en förstyvande effekt i asfaltmassan. Tillsammans pekar kombinationen mot en beläggning med hög styvhet och mer känslighet för lokala vidhäftningsproblem vilket har ökat sprickkänsligheten. Dock är samma fenomen inte lika tydligt för den spruckna delsträckan på E6, som uppvisade normala värden på mjukpunkt, lite mjukare bindemedel (70/100) och där inget vax har använts som tillsatsmedel. Dessa faktorer verkar däremot ha haft större inverkan på E45 sprucken än på E6 sprucken

Den okulära bedömningen pekar också mot att lokala vidhäftningsproblem kan ha förekommit på de spruckna delsträckorna. På båda spruckna delsträckorna på E45 och E6 observerades helt och delvis avklädda stenar i både slit- och bindlager. I flera borrhävar observerades även brott mellan sten och bindemedel. Detta tyder på att vissa delar av asfaltmassan haft sämre täckning av bindemedel och därmed sämre lokal vidhäftning mellan stenmaterial och bindemedel. Resultaten stämmer också överens med variationerna i hållrumshalten samt de okulära observationerna av torrare och mer inhomogena partier i borrhävarna. Detta indikerar på en ojämn utläggning samt en ojämn fördelning av bindemedel vid byggskedet

5.1.4. Tjocklekar

Tjocklekarna låg generellt nära de dimensionerande värdena och resultaten visar inga tydliga indikationer på att sprickbildningen orsakats av underdimensionerade lager eller större avvikelser. Detta blir särskilt tydligt på E45 där båda delsträckorna har i princip samma uppbyggnad och lagertjocklekar men där endast ena delsträckan uppvisar

omfattande sprickbildning. Även på E6 är resultaten intressanta då E6 sprucken med ett cirka 40 mm tjockt slitlager uppvisar sprickor medan E6 referens med ett tunnare TSK-lager på cirka 20 mm inte uppvisar någon sprickbildning. Resultaten visar inga tydliga indikationer på att de studerade delsträckorna varit underdimensionerade eller att sprickbildningen orsakats av för tunna lager. Samtidigt förekommer top-down sprickor vanligtvis på vägar med relativt tjocka och styva asfaltbeläggning där höga dragspänningar kan uppstå i den övre delen av slitlagret. Detta skulle kunna vara en bidragande faktor för vissa delsträckor men det är svårt att säga med säkerhet.

5.1.5. Sammanställd bedömning

Utifrån resultaten verkar sprickbildningen inte bero på en enskild parameter utan snarare på en kombination av flera faktorer. Den tydligaste gemensamma faktorn för de spruckna delsträckorna är att asfaltmassan verkar ha varit mer inhomogen redan vid byggskedet. Detta syns genom större variationer i hållrumshalten, okulära observationer av torrare partier i borrhärnorna samt helt och delvis avklädda stenar. Resultaten pekar mot att vissa delar av beläggningen haft ojämn packning, ojämn bindemedelsfördelning och sämre lokal vidhäftning mellan stenmaterial och bindemedel.

För sprucken delsträcka på E6 verkar sprickbildningen främst vara kopplad till dessa lokala variationer i asfaltmassan. Delsträckan uppvisade inga särskilt höga värden på mjukpunkten och använde ett mjukare bindemedel (70/100), men hade däremot stora variationer i hållrumshalten redan vid nybyggnation. Samtidigt observerades torrare och mer inhomogena partier i borrhärnorna. Detta tyder på att vissa delar av beläggningen varit svagare än andra redan från början. Sprickorna på delsträckan var också mer lokala och mindre omfattande jämfört med sprucken delsträcka på E45, vilket stämmer överens med att problemen främst verkar vara lokala.

För den spruckna delsträckan på E45 är sambandet tydligare. Delsträckan uppvisade stor variation i hållrumshalten vid nybyggnation samtidigt som den hade kvartsit i slitlagret, styvt bindemedel 50/70, högst mjukpunkt av samtliga delsträckor och tillsatt NBS-vax. Kombinationen av dessa parametrar pekar mot en ovanligt styv och spröd beläggning. Samtidigt uppvisade delsträckan relativt låg spårutveckling men omfattande sprickbildning i hjulspåren. Detta tyder på att beläggningen haft hög motståndskraft mot deformation men sämre förmåga att ta upp dragspänningar från trafikbelastning. Den höga styvheten verkar därför vara en viktig bidragande faktor till den omfattande sprickbildningen på delsträckan.

Stenmaterialet verkar också ha haft betydelse. Båda spruckna delsträckorna använde kvartsit i slitlagret medan referenssträckorna använde porfyr. Kvartsit har generellt sämre vidhäftning mot bitumen jämfört med porfyr vilket gör asfaltmassan mer känslig för lokala vidhäftningsproblem, särskilt i kombination med höga hållrum, ojämn bindemedelsfördelning eller styvare bindemedel. Detta stämmer även överens med de okulära observationerna där brott mellan sten och bindemedel samt avklädda stenar observerades på de spruckna delsträckorna.

Referenssträckorna uppvisade däremot generellt mer homogena och flexibla egenskaper. Referenssträckan på E6 hade ett tunnare TSK-lager med rikligt bindemedel och uppvisade ingen sprickbildning trots tunnare slitlager. Det är mycket möjligt att sprickor har initierats även på denna delsträcka men att TSK-lagret varit mer flexibelt och därmed mer förlåtande mot uppkomsten och vidareutvecklingen av sprickor. Den högre bindemedelshalten och goda fördelningen kan även ha bidragit till viss självläkning av mindre sprickor över tid. Referenssträckan på E45 hade jämnare hålrumshalter vid nybyggnation och porfyri i slitlagret. Även om vissa avklädda stenar observerades på denna delsträcka uppvisade den ingen sprickbildning.

Klistringen mellan lagren verkar också ha haft betydelse, särskilt på den spruckna delsträckan på E45. På borrhärdar som togs direkt i sprickorna observerades tydlig separation mellan slitlager och bindlager samtidigt som materialet var kraftigt nedbrutet. På borrhärdar som togs direkt i sprickorna hade slitlagret separerat tydligt från bindlagret samtidigt som materialet var kraftigt nedbrutet. Slitlagret uppträdde i princip som ett eget lager ovanpå konstruktionen istället för att samverka med underliggande lager. Detta har sannolikt lett till högre dragspänningar i slitlagret och därmed bidragit till den omfattande sprickbildningen. Det är svårt att avgöra om den bristfälliga klistringen varit en ursprunglig orsak eller om den försämrats till följd av vatteninfiltration genom sprickorna. Däremot verkar lagren ha samverkat sämre vilket har bidragit till att skadorna utvecklats vidare och blivit mer omfattande.

Den samlade bedömningen är därför att sprickbildningen främst verkar vara kopplad till en mer inhomogen asfaltmassa i kombination med parametrar som gjort beläggningen styvare och mer känslig för sprickor. För den spruckna delsträckan på E6 verkar de lokala variationerna i asfaltmassan vara den viktigaste faktorn medan den spruckna delsträckan på E45 även uppvisar flera andra parametrar som tillsammans pekar mot en ovanligt styv och sprickkänslig beläggning.

5.1.6. Ekonomiska konsekvenser av sprickbildning

Resultaten från den kompletterande provningen i hjulspår visar att sprickbildningen inte bara påverkar slitlagret utan även kan påverka underliggande lager. På de mest skadade proverna observerades separering mellan slitlager och bindlager samtidigt som bindemedelshalten minskat och materialet var kraftigt nedbrutet. Detta tyder på att vatten har infiltrerat genom sprickorna och påverkat bindlagret.

Detta kan även kopplas till de åtgärder som Trafikverket tvingas göra på delsträckor med omfattande sprickbildning. På delsträckor utan sprickbildning räcker det ofta att endast fräsa bort och ersätta slitlagret. På delsträckor med omfattande sprickbildning behövs i många fall även bindlager och ibland delar av AG-lagret fräsas bort och ersättas. Ett exempel på detta är delsträckan på E6 Örekilsälven–Håby där sprickbildning till att slitlager, bindlager och övre AG-lager behövde ersättas efter att vatten trängt ner i konstruktionen. Enligt Trafikverket blev åtgärden cirka 158 % dyrare jämfört med att

endast ersätta slitlagret. Liknande skillnader finns även på E45 där den spruckna delsträckan kräver åtgärder i både slitlager och bindlager medan referenssträckan endast behöver ny beläggning i slitlagret. Enligt Trafikverket är åtgärden på den spruckna delsträckan cirka 99 % dyrare.

Sprickbildningen har alltså en stor ekonomisk konsekvens då underhållsåtgärderna ofta blir betydligt mer omfattande jämfört med delsträckor utan sprickor. När sprickorna utvecklas och vatten infiltrerar ner i konstruktionen räcker det inte längre att endast ersätta slitlagret, utan även underliggande lager kan behöva fräsas bort och ersättas. Detta leder till betydligt högre underhålls- och reinvesteringskostnader samt kortare livslängd för beläggningen. Det är därför viktigt att förstå vilka parametrar och mekanismer som bidrar till sprickbildningen för att kunna minska framtida skador och kostnader.

5.2. Metoddiskussion

5.2.1. Litteraturstudie och datainsamling

Vetenskapliga artiklar har huvudsakligen identifierats genom databaser och söktjänster såsom Google Scholar och Finn, vilket har bidragit till att säkerställa källornas relevans och tillförlitlighet. Krav Dokumenten har fungerat som ett viktigt referensunderlag vid bedömningen av de olika parametrarna och resultaten i studien. Utan kunskap om vilka krav och riktvärden som gäller hade resultaten varit svåra att tolka och sätta i ett sammanhang.

En stor del av de vetenskapliga artiklar och rapporter som använts i studien har hämtats från statliga aktörer såsom Trafikverket och VTI, vilket bidrar till att stärka materialets tillförlitlighet och relevans. Samtidigt har information även hämtats från studier genomförda i exempelvis USA och Italien. Eftersom klimatförhållanden, trafikbelastning och konstruktionsmetoder kan skilja sig mellan olika länder kan detta innebära en potentiell felkälla vid jämförelser och överföring av resultat till svenska förhållanden.

All datainsamling har tagits från statliga aktörer och jämförts med de handlingar från entreprenörer för att säkerställa tillförlitlighet och relevans.

5.2.2. Tillgängligt underlag från produktionen

Handlingar i form av kvalitetskontroller, arbetsrecept och andra provningsresultat har erhållits och utgjort ett värdefullt underlag i examensarbetet. Det tillgängliga materialet har kunnat sammanställas och jämföras för att stödja analyserna i studien. Samtidigt har vissa resultat och uppgifter saknats, vilket har medfört begränsningar i möjligheten att genomföra fullständiga jämförelser mellan delsträckorna.

Information om själva utförandeprocessen har varit mycket begränsad för de undersökta delsträckorna. För att möjliggöra en mer detaljerad analys av produktionsförhållandena

hade det exempelvis varit värdefullt att ha tillgång till arbetsdagböcker eller motsvarande dokumentation. Sådant underlag hade kunnat ge information om utförandemetoder samt väderförhållanden vid tidpunkten då beläggningsarbetena genomfördes.

5.2.3. Provtagning av borrhärdar

Provtagningen som genomförts på de undersökta delsträckorna bedöms ha utförts delvis korrekt. Vissa värden från resultaten har varit normala och förväntade medan andra har gett misstankar om felaktigt utförd borrhärdtagning. För varje delsträcka togs borrhärdar upp från samma position, vilket säkerställde en konsekvent provtagningsmetod. Samtidigt hade en provtagning från flera olika platser längs respektive delsträcka kunnat ge en mer representativ och heltäckande bild av variationerna inom vägkonstruktionen.

Borrhärdarna har sågats mellan de olika beläggningslagren för att olika laboratorietester ska kunna genomföras. Identifieringen av de exakta gränserna mellan lagren är dock förknippad med viss osäkerhet och kan därmed utgöra en potentiell felkälla. Även materialförlust i samband med sågningen kan påverka resultaten och bidra till ytterligare osäkerheter i analyserna.

I efterhand kan det konstateras att de borrhärdar som användes för vattenkänslighet även hade kunnat nyttjas för ytterligare analyser, exempelvis bestämning av hålrums halt. Detta hade kunnat ge ett större antal resultat och därmed ett mer omfattande underlag för bedömning av beläggnings egenskaper. Alternativt hade fler prover kunnat tas ut specifikt för hålrumsanalyser.

Vidare hade kompletterande laboratorietester, såsom duktilitetsprovning och Dynamic Shear Rheometer (DSR), kunnat genomföras för att ge ytterligare information om bindemedlets egenskaper. Dessa tester hade gett resultat på bitumens plastiska deformation innan sprickning och dess reologiska egenskaper vid olika temperaturer. Sådana analyser hade sannolikt bidragit till en djupare förståelse av materialets beteende och därmed stärkt studiens resultat och slutsatser.

Ett större antal tester, fler provtagningspunkter och kompletterande analysmetoder hade kunnat ge en mer detaljerad och heltäckande bild av tillståndet på de undersökta delsträckorna.

5.2.4 Arbetets avgränsningar och begränsningar

Arbetets avgränsningar har påverkat hur resultaten kan tolkas. Studien omfattar endast fyra utvalda delsträckor på E6 och E45, vilket innebär att resultaten främst bör ses som en jämförelse mellan dessa delsträckor och inte som en generell slutsats för alla högfartsförseglade vägar. Analysen har även avgränsats till de bitumenbundna lagren.

Underliggande obundna lager, terrass och geotekniska förhållanden har inte undersökts. Det innebär att eventuella bidrag från exempelvis bärighet, dränering eller markförhållanden inte har kunnat bedömas i denna studie, även om sprickorna förekommer i ovankant. Laboratieprovningen har dessutom begränsats till hålrums halt, bindemedelshalt, mjukpunkt, kornstorleksfördelning, vattenkänslighet och tjocklek. Andra provningar hade kunnat ge ytterligare information.

6. Slutsatser

Utifrån resultaten i denna studie kan följande slutsatser dras:

- E6 sprucken och E45 sprucken uppvisade en större variation i hålrumshalt i slitlagret än E45 referens.
- Borrkärnorna från de spruckna delsträckorna uppvisade torrare och mer inhomogena partier samt en ojämn fördelning av bindemedel jämfört med referenssträckorna.
- De spruckna delsträckorna använde kvartsit i slitlagret medan referenssträckorna använde porfyr.
- E45 sprucken hade ett styvare bindemedel (50/70) i slitlagret och tillsättning av vax som tillsatsmedel jämfört med E45 referens (70/100).
- På E45 sprucken observerades bristfällig klistring mellan slitlager och bindlager. Borrkärnor uttagna i sprickorna visade att slitlagret hade separerat från underliggande lager.
- Referenssträckorna uppvisade generellt jämnare hålrumshalter, mer homogen struktur och jämnare bindemedelsfördelning än de spruckna delsträckorna.
- Sprickbildning leder till betydligt högre underhållskostnader, där åtgärderna i vissa fall kan bli 99–158 % dyrare jämfört med delsträckor som inte spricker.

7. Framtida rekommendationer

För att få ett större underlag och möjliggöra tydligare jämförelser bör fortsatta studier fokusera på följande områden:

- Utföra DSR-provning för att undersöka bindemedlets reologiska egenskaper och se om det finns något som skiljer sig i de spruckna respektive ospruckna delsträckorna.
- Undersöka vidhäftningen mellan stenmaterial och bindemedel mer detaljerat utöver den vattenkänslighetsprovning som har gjorts.
- Ta fler borrkärnor direkt i sprickor samt fler borrkärnor överlag för att få en bättre helhetsbild på värden för olika parametrar.
- Undersöka klistringen mellan lagren mer systematiskt eftersom detta endast bedömdes okulärt i detta arbete.

8. Referenser

Abdullah, W.S., Obaidat, M.T. & Abu Sada, N.M. (1998). Influence of aggregate type and gradation on voids of asphalt concrete pavements. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 10(2), s. 76–85. DOI: 10.1061/(ASCE)0899-1561(1998)10:2(76).

Agardh, S. & Parhamifar, E. (2014). *Vägbyggnad*. 1. uppl. Stockholm: Liber.

Aljubory, A., Teama, Z.T., Salman, H.T. & Abd Alkareem, H.M. (2021). Effects of cellulose fibers on the properties of asphalt mixtures. *Materials Today: Proceedings*, 42, s. 2941–2947. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.12.772.

Andersson, A., Jacobson, T. & Persson, B. (2004). Tillsatsmedel i asfalt: påverkan på arbetsmiljö och omgivning. SBUF projekt 11395. Stockholm: Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.

Aragão, F.T.S., Lee, J., Kim, Y.R. & Karki, P. (2010). Material specific effects of hydrated lime on the properties and performance behavior of asphalt mixtures and asphaltic pavements. *Construction and Building Materials*, 24(4), s. 538–544. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.10.005.

Asfaltboken (1999). *Asfaltboken*. Tillgänglig: <https://asfaltboken.se/> [Hämtad 2026-02-24].

Bastidas Martínez, J.G. & Rondón Quintana, H.A. (2024). Assessment of asphalt binder content, temperature and loading rate in indirect tensile strength and resilient modulus tests of a hot mix asphalt: Comparison with Marshall design method. *Construction and Building Materials*, 426, artikel 136158. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.136158.

Błażejowski, K., Wójcik Wiśniewska, M., Baranowska, W. & Ostrowski, P. (2024). *Bitumen handbook*. Płock: ORLEN Asfalt.

Buncher, M. & Anderson, M. (2014). *Asphalt mix design methods*. 7. uppl. Lexington: Asphalt Institute.

Buncher, M., Gierhart, D., Blow, M., Johnson, D. & Harder, G. (2025). *Asphalt paving handbook*. Lanham: National Asphalt Pavement Association.

Canestrari, F. & Ingrassia, L.P. (2020). A review of top down cracking in asphalt pavements: Causes, models, experimental tools and future challenges. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 7(5), s. 541–572. DOI: 10.1016/j.jtte.2020.08.002.

Charlier, R., Horny, P., Sršen, M., Hermansson, Å., Bjarnason, G., Erlingsson, S. & Pavšič, P. (2009). Water influence on bearing capacity and pavement performance: Field

observations. I: Dawson, A. red. *Water in Road Structures: Movement, Drainage and Effects*. Dordrecht: Springer, s. 175–192. DOI: 10.1007/978 1 4020 8562 8_8.

Cheng, G., Zheng, Y., Yu, J., Liu, J. & Hu, X. (2022). Investigation of the fatigue life of bottom up cracking in asphalt concrete pavements. *Applied Sciences*, 12(23), artikel 12119. DOI: 10.3390/app122312119.

Dinegda, Y.H. (2022). *Pavement inputs variability characterization: State of the art literature review*. VTI rapport 1138A. Linköping: Statens väg och transportforskningsinstitut.

Edwards, Y. & Isacson, U. (2008). Experience of adding wax to bitumen and asphalt mixture products. SBUF projekt 11933. Stockholm: Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.

Emery, J. (2006). *Evaluation and mitigation of asphalt pavement top down cracking*. Ottawa: Transportation Association of Canada.

Fan, Y., Yu, Y., Shi, C., Wu, Y., Huang, S., Zhou, Y., Wang, H., Yang, J. & Huang, W. (2024). Failure modes of asphalt pavement with top down cracks based on measured aging gradients in field cores. *Construction and Building Materials*, 438, artikel 137188.

Federal Highway Administration (u.å.). *Asphalt materials and paving mixtures*. Washington, DC: Federal Highway Administration.

Glantz, C. & Wahlman, T. (2014). *Handbok i vägytemått: Jämnt hela vägen*. TRV 100703. Stockholm: Ramböll Sverige AB. ISBN 978 91 7467 607 5.

Höbeda, P. (1993). *Stenmaterialundersökningar vid VTI: Föredrag vid Bättre Teknik på Väg*. Linköping: Statens väg och transportforskningsinstitut.

Höbeda, P. (1994). *Inverkan av filler på egenskaper hos asfaltbetong*. Linköping: Statens väg och transportforskningsinstitut.

Höbeda, P. (1995). *Stenmaterialets betydelse för funktionen hos asfaltbeläggning: Svenska förhållanden*. Linköping: Statens väg och transportforskningsinstitut.

Höbeda, P. (1998). *Vattenkänslighet hos asfaltbeläggning*. Linköping: Statens väg och transportforskningsinstitut.

Jacobson, T. (1998). *Skadeutredning, ABS beläggningar*. Linköping: Statens väg och transportforskningsinstitut.

John, I., Bangi, M. & Lawrence, M. (2021). Effect of filler and binder contents on air voids in hot mix asphalt for road pavement construction. *Open Journal of Civil Engineering*, 11(3), s. 330–344.

Kharrazi, S., Karlsson, R., Sandin, J. & Aurell, J. (2015). *Performance based standards for high capacity transports in Sweden: Review of existing regulations and literature*. VTI rapport 859A. Linköping: Statens väg och transportforskningsinstitut.

Linnéuniversitetet (2026). *Sökguide: för litteraturstudie*. Tillgänglig: <https://ub.lnu.se/guider/sjalvstudieguide-for-litteraturstudie-som-examensarbete/#/> [Hämtad 2026-04-08].

MCA (2012). Basic asphalt materials mixture design and testing. Toronto: McAsphalt Industries Limited.

Mehdizadeh, G. & Hesami, E. (2017). Study of the amine based liquid anti stripping agents by simulating hot mix asphalt plant production process. *Construction and Building Materials*, 157, s. 1011–1017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.168.

Newcomb, D., Buncher, M. & Huddleston, I. (2001). Concepts of perpetual pavements. *Transportation Research Circular*, 503, s. 4–11. Washington, DC: Transportation Research Board.

Nouryon (2022). Adhesion promoters. Amsterdam: Nouryon.

Pavement Interactive (u.å.). *Top down cracking*. Tillgänglig: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-management/pavement-distresses/top-down-cracking/> [Hämtad 2026-04-23].

Pstrowska, K., Gunka, V., Sidun, I., Demchuk, Y., Vytrykush, N., Kułazyński, M. & Bratychak, M. (2022). Adhesion in bitumen aggregate system: Adhesion mechanism and test methods. *Coatings*, 12(12), artikel 1934. DOI: 10.3390/coatings12121934.

Read, J. & Whiteoak, D. (2003). *The Shell bitumen handbook*. 5. uppl. London: Thomas Telford Publishing.

Ridgeway, H. (1976). Infiltration of water through the pavement surface. *Transportation Research Record*, 616, s. 98–100. Washington, DC: Transportation Research Board.

Rossi, C.O., Teltayev, B. & Angelico, R. (2017). Adhesion promoters in bituminous road materials: A review. *Applied Sciences*, 7(5), artikel 524. DOI: 10.3390/app7050524.

Sahan, N., Kumandas, A., Kabadayi, E., Cavdar, E. & Oruc, S. (2023). The use of wax based additives in bitumen modification: A systematic quantitative literature review. *Construction and Building Materials*, 409, artikel 133878. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.133878.

Salour, F. & Erlingsson, S. (2014). *Impact of groundwater level on the mechanical response of a flexible pavement structure*. VTI rapport 849A. Linköping: Statens väg och transportforskningsinstitut.

Speight, J.G. (2016). Asphalt technology. I: Speight, J.G. *Asphalt Materials Science and Technology*. Oxford: Butterworth Heinemann, s. 361–408. DOI: 10.1016/B978 0 12 800273 5.00009 X.

Sun, L., Wang, G., Zhang, H. & Liu, L. (2018). Initiation and propagation of top down cracking in asphalt pavement. *Applied Sciences*, 8(5), artikel 774. DOI: 10.3390/app8050774.

Sveriges Kommuner och Regioner (2019). *Bära eller brista*. Stockholm: Sveriges Kommuner och Regioner.

Tao, X., Zhan, A., Huang, X. & Bai, T. (2025). Analysis of top down cracking in asphalt pavements based on energy principles. *Materials*, 18(7), artikel 1586. DOI: 10.3390/ma18071586.

Thodesen, H. & Hoff, I. (2010). Study of water effects on asphalt and porous asphalt. Deliverable N5. Brussels: Conference of European Directors of Roads.

Trafikanalys (2025). *Transportarbete i Sverige 2000–2024*. Stockholm: Trafikanalys.

Trafikverket (1994). Bitumenbundna lager. Kap. 6. Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket (2005). Kapitel E: Obundna material. I: ATB VÄG 2005. Publikation 2005:112. Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket (2011). TRVKB 10 Bitumenbundna lager. TDOK 2011:267. Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket (2014). Val av beläggning. Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket (2015). Metodbeskrivning: Undersökningen av ÅDT. Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket (2020a). Krav bitumenbundna lager. TDOK 2013:0529, version 3.0. Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket (2020b). Krav för vägars och gators utformning. TDOK 2017:0650. Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket (2023). TRVINFRA 00224 Överbyggnad väg: Dimensionering och utformning. Borlänge: Trafikverket.

Trafikverket (2024). Information om statliga vägar, verktyget PMSv4. Tillgänglig: <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/information-om-statliga-vagar-verktyget-pmsv4/> [Hämtad 2026-04-06].

Trafikverket (u.å.). Om underhållsstandard. Tillgänglig: <https://pmsv4.trafikverket.se/about-underhallsstandard> [Hämtad 2026-04-06].

Varin, P. & Saarenketo, T. (2014). Effect of axle and tyre configurations on pavement durability. ROADEX Network. Rovaniemi: Roadscanners Oy.

VTI (2026). *Dimensioneringsmodeller*. Tillgänglig: <https://www.vti.se/forskning/forskningsomraden/forskningsenheter/vag--och-banteknik/dimensioneringsmodeller> [Hämtad 2026-02-02].

Wang, H., Wang, J. & Chen, J. (2014). Micromechanical analysis of asphalt mixture fracture with adhesive and cohesive failure. *Engineering Fracture Mechanics*, 132, s. 104–119. DOI: 10.1016/j.engfracmech.2014.10.010.

Weise, C. & Zeissler, A. (2016). Effects of fiber reinforcement on the fatigue and rutting performance of asphalt mixes. I: Proceedings of the 5th Eurasphalt and Eurobitume Congress. Prague: European Asphalt Pavement Association.

Yan, Y., Zhang, H., Bekoe, M., Allen, C., Zhou, J. & Roque, R. (2023). Effects of asphalt binder type, aggregate type, and gradation characteristics on fracture properties and performance of asphalt mixtures at intermediate temperatures. *Construction and Building Materials*, 408, artikel 133720.

Yang, Q., Lin, J., Wang, X., Wang, D., Xie, N. & Shi, X. (2024). A review of polymer modified asphalt binder: Modification mechanisms and mechanical properties. *Cleaner Materials*, 12, artikel 100255. DOI: 10.1016/j.clema.2024.100255.

Yang, S., Park, H. & Baek, C. (2023). Fatigue cracking characteristics of asphalt pavement structure under aging and moisture damage. *Sustainability*, 15(6), artikel 4815. DOI: 10.3390/su15064815.

Zou, J., Isola, M., Roque, R., Chun, S., Koh, C. & Lopp, G. (2013). Effect of hydrated lime on fracture performance of asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 44, s. 302–308. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.03.019.

9. Bilagor

Bilaga A – Sprickinventering på E45 och E6

Tabell A: Sprickinventering på E45 sprucken i motgående riktning. Tabellen redovisar sprickornas start- och slutposition samt längd i vänster respektive höger hjulspår i K1.

Vänster			Höger		
Start (m)	Slut (m)	Längd (m)	Start (m)	Slut (m)	Längd (m)
110/258	110/258	lokalt	110/244	110/298	54
110/480	110/480	lokalt	110/394	110/452	58
110/820	110/870	50	110/560	110/560	lokalt
111/666	111/666	lokalt	110/594	110/655	61
111/760	111/890	130	110/668	110/668	lokalt
111/900	112/130	230	110/703	110/780	77
112/150	112/150	lokalt	110/860	110/900	40
112/180	112/200	20	110/900	111/000	100
112/240	112/280	40	111/108	111/108	lokalt
112/383	112/383	lokalt	111/440	111/440	lokalt
112/400	112/495	95	111/500	111/500	lokalt
			111/570	111/680	110
			111/666	111/890	224
			111/900	112/280	380
			112/330	112/440	110
			112/460	112/493	33
			112/513	112/540	27

Nedan visas översikter från sprickinventeringen på E45 och E6. De smala linjerna representerar identifierade sprickor, se Figur A1-A7. Underlaget har erhållits från Fredrik Lindström från Trafikverket, via e-post 2026.

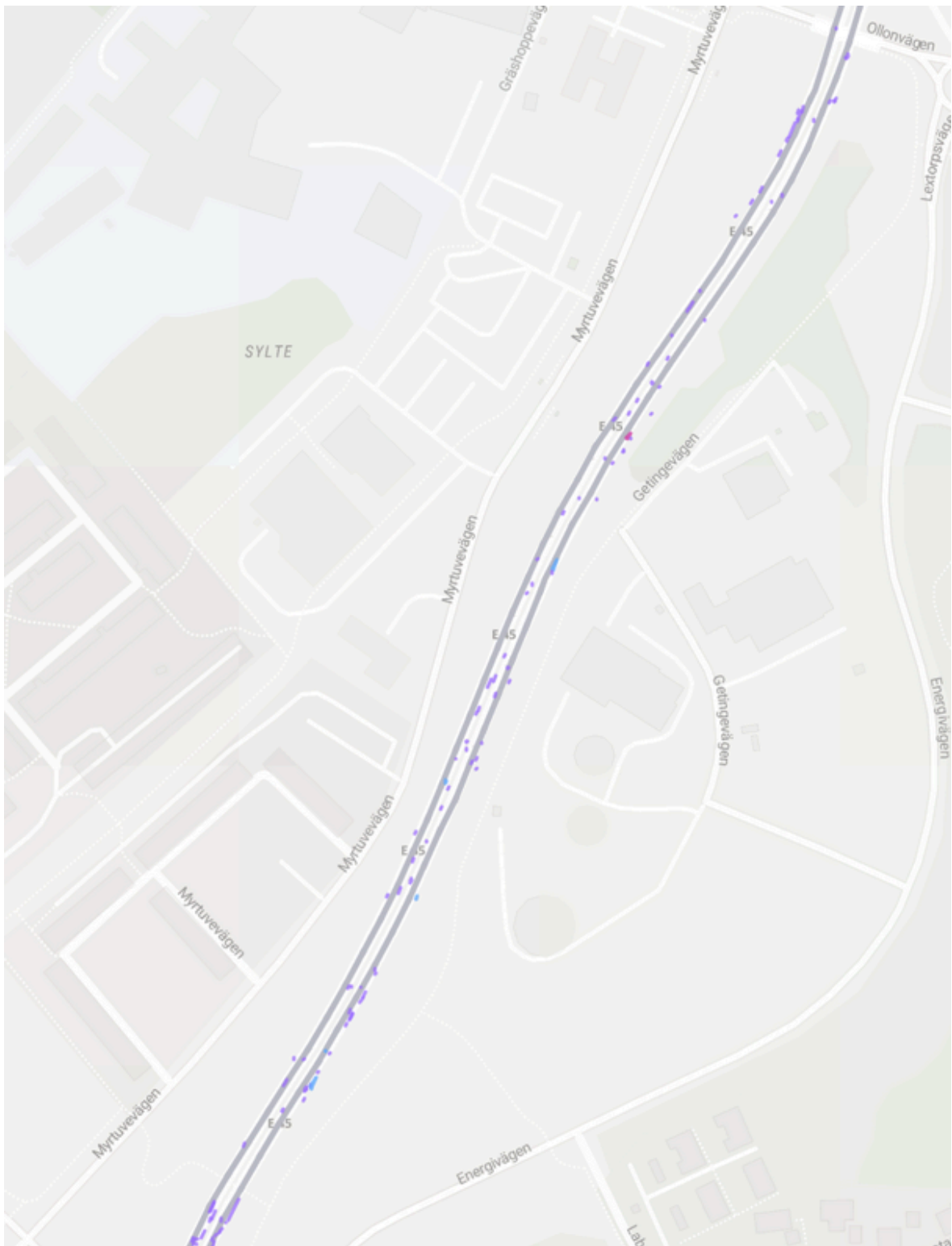




Figur A2: Sprickinventering E45, del 2.



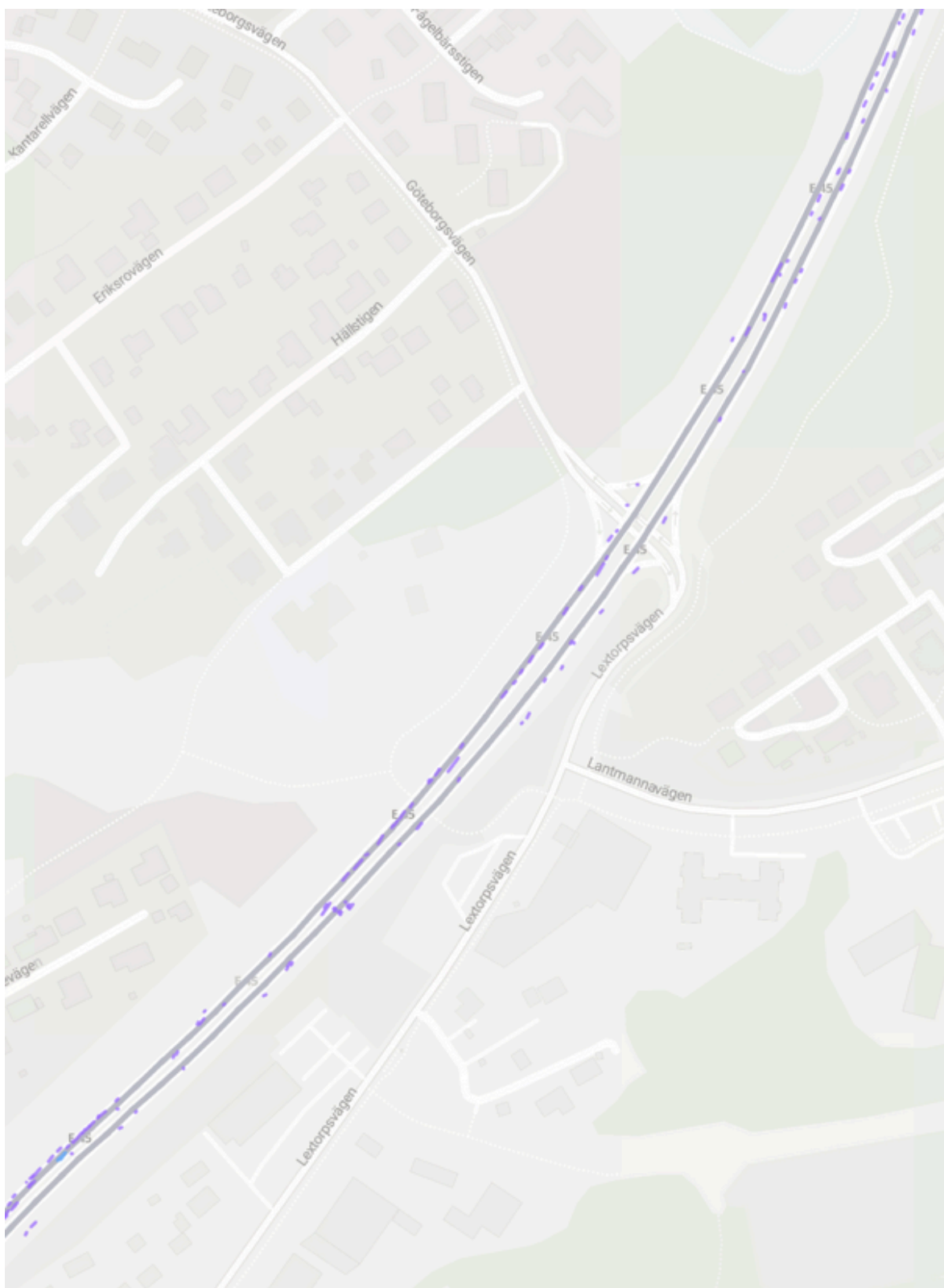
Figur A3: Sprickinventering E45, del 3.



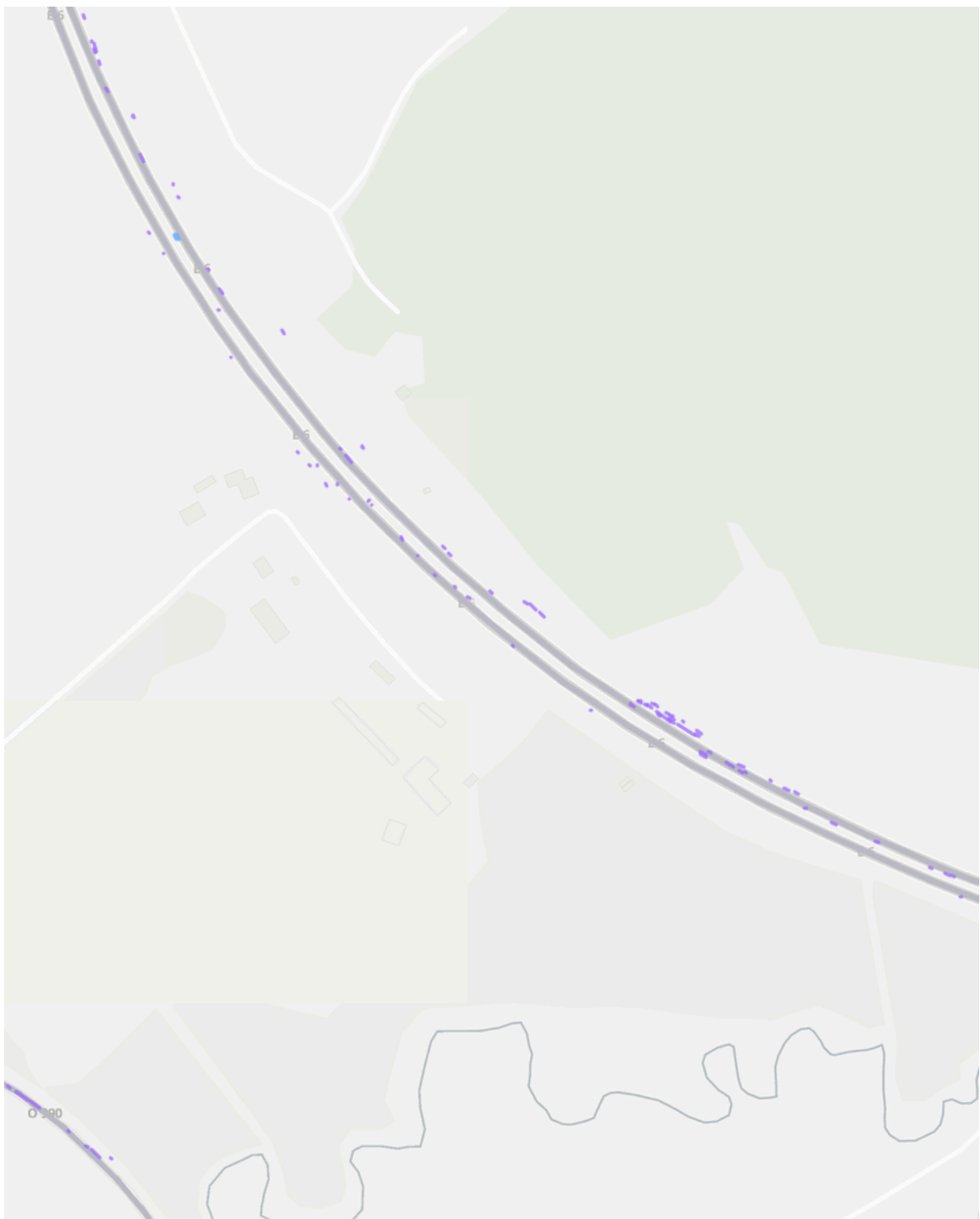
Figur A4: Sprickinventering E45, del 4.



Figur A5: Sprickinventering E45, del 5.



Figur A6: Sprickinventering E45, del 6.

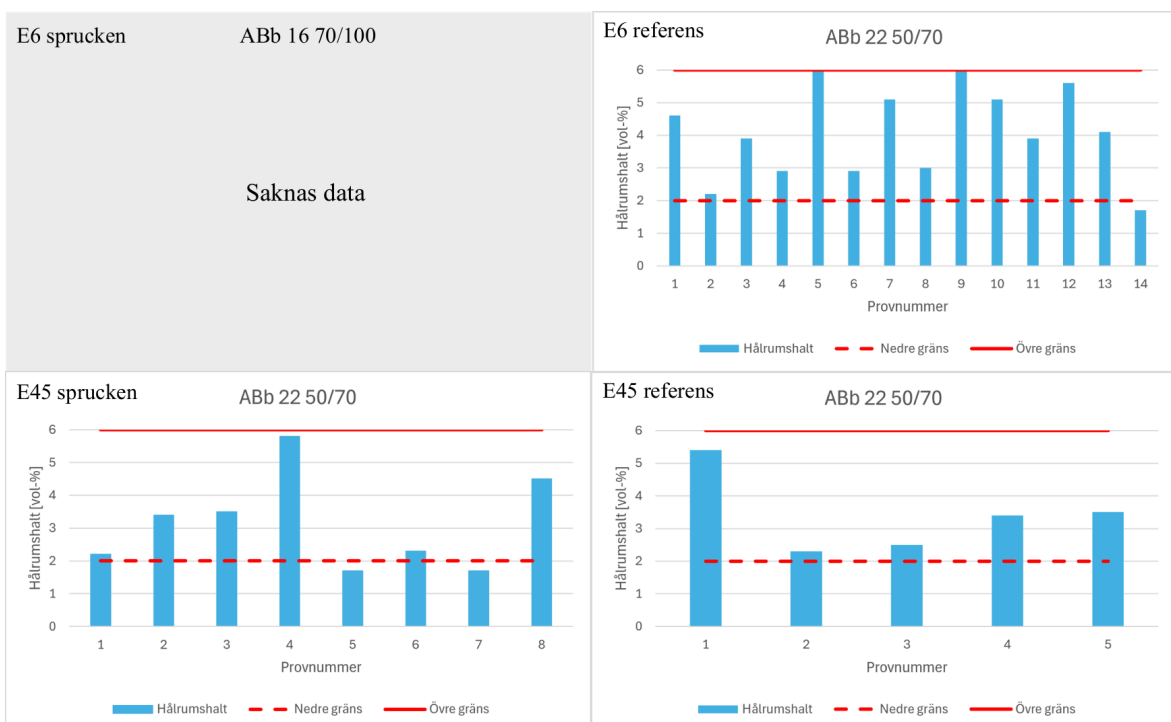


Figur A7: Sprickinventering E6.

Bilaga B – Individuella värden för hålrums halt vid nybyggnation

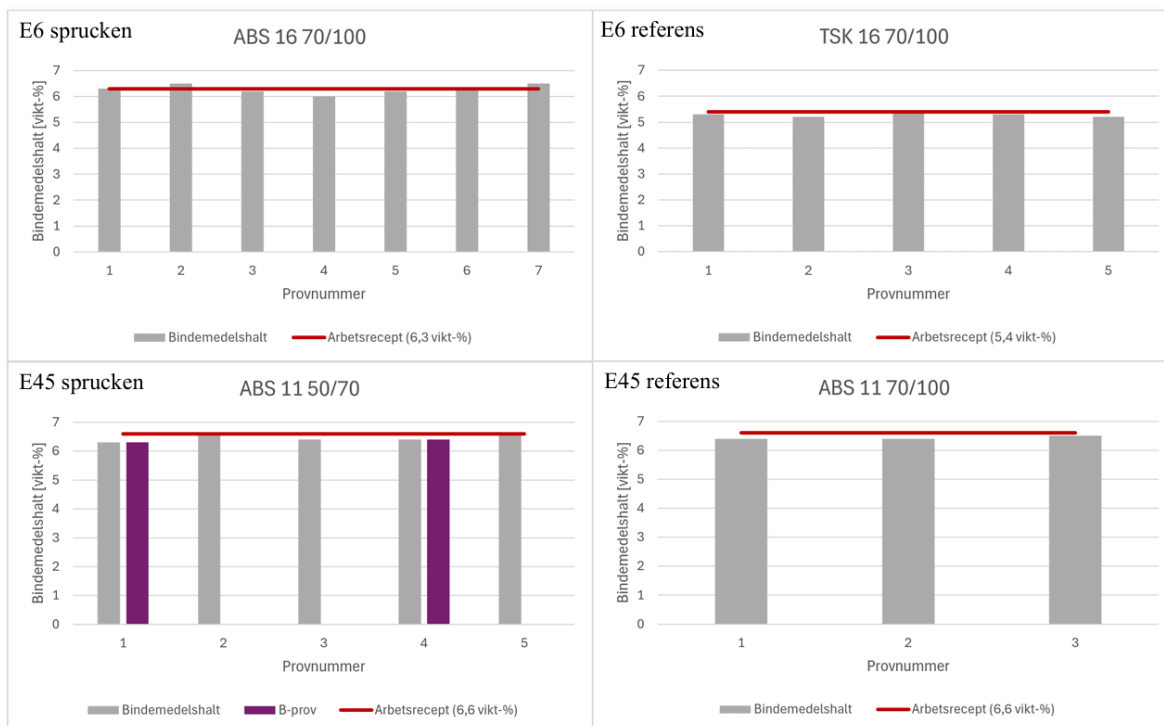


Figur B1: Hålrums halt i slitlager vid nybyggnation för samtliga delsträckor

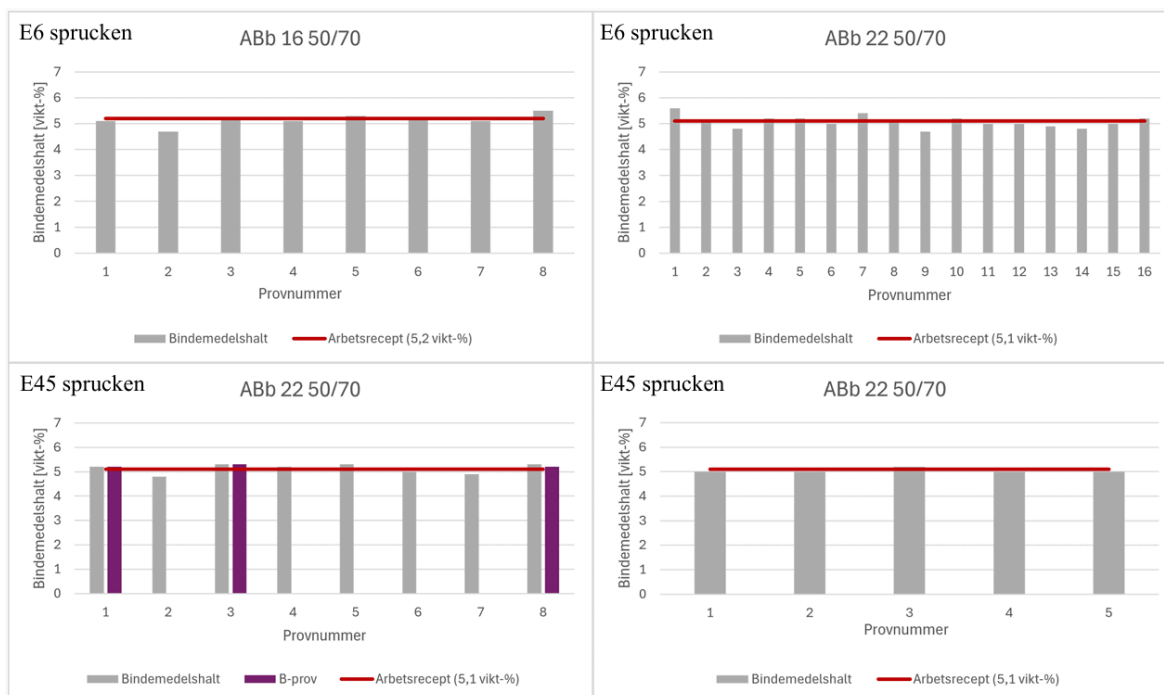


Figur B2: Hålrums halt i bindlager vid nybyggnation för samtliga delsträckor.

Bilaga C – Individuella värden för bindemedelshalt vid nybyggnation



Figur C1: Bindemedelshalt i slitlager vid nybyggnation för samtliga delsträckor.



Figur C2: Bindemedelshalt i bindlager vid nybyggnation för samtliga delsträckor.

Bilaga D – Kornstorleksfördelning vid nybyggnation och analyserade prover från 2026

Tabell D: Kornstorleksfördelning (passerad vikt-%) för slitlager. Svarta värden avser kornstorleksfördelningen vid nybyggnation medan lila värden avser resultat från provtagningen 2026.

Delsträcka	Massatyp	0,063	2	4	8	11,2
E6 sprucken	ABS 16 70/100	9,0 9,5	24,7 26,0	27,0 28	– 46	57,9 64
E6 referens	TSK 16 70/100	6,8 8,2	22,6 25,0	25,9 30	– 45	66,7 61
E45 sprucken	ABS 11 50/70	9,3 8,2	23,9 26,0	29,4 31,0	42,8 52,0	91,7 91,0
E45 referens	ABS 11 70/100	10,2 10,1	24,3 24,0	28,0 28,0	55,0 57,0	93,3 97,0

Bilaga E – Sammanställning av ITSr och draghållfasthet vid nybyggnation och analyserade prover från 2026

Tabell E1: Sammanställning av ITSr och draghållfasthet för slitlager. Svarta värden avser kvalitetskontroller vid nybyggnation medan lila värden avser resultat från provtagningen 2026.

Delsträcka	Massatyp	ITSr (%)	Min. krav (%)	Draghållfasthet, torr (kPa)	Draghållfasthet, våt (kPa)
E6 sprucken	ABS 16 70/100	86 104	75	2126 2400	1821 2490
E6 referens	TSK 16 70/100	97 –	75	2364 –	2296 –
E45 sprucken	ABS 11 50/70	91 90	75	2562 2500	– 2260
E45 referens	ABS 11 70/100	89 64	75	2039 1710	1823 1090

Tabell E2: Sammanställning av ITSr och draghållfasthet för bindlager. Svarta värden avser kvalitetskontroller vid nybyggnation medan lila värden avser resultat från provtagningen 2026.

Delsträcka	Massatyp	ITSr (%)	Min. krav (%)	Draghållfasthet, torr (kPa)	Draghållfasthet, våt (kPa)
E6 sprucken	ABb 16 50/70	88 102	75	2643 2840	2324 2890
E6 referens	ABb 22 50/70	92 94	75	– 3190	– 3010
E45 sprucken	ABb 22 50/70	81 96	75	2941 2810	– 2700
E45 referens	ABb 22 50/70	93 90	75	2778 2190	2597 1970

Bilaga F – Sammanställning av ITSR och draghållfasthet

Tabell F: Uppmätta tjocklekar per lager och delsträcka vid nybyggnation.

Lager	E6 sprucken	E6 referens	E45 sprucken	E45 referens
Slitlager				
Massatyp	ABS 16 70/100	TSK 16 70/100	ABS 11 50/70	ABS 11 70/100
Dimensionerad tjocklek (mm)	40	20	35	35
Uppmätt medel (mm)	43	-	36	36
Min–max (mm)	39–47	-	35–37	34–38
Bindlager				
Massatyp	ABb 16 50/70	ABb 22 50/70	ABb 22 50/70	ABb 22 50/70
Dimensionerad tjocklek (mm)	55	65	55	55
Uppmätt medel (mm)	57	65	57	56
Min–max (mm)	54–64	56–75	54–59	53–57
Bärlager, övre				
Massatyp	AG 22 70/100	AG 22 70/100	AG 22 70/100	AG 22 70/100
Dimensionerad tjocklek (mm)	50	50	50	50
Uppmätt medel (mm)	51	52	51	51
Min–max (mm)	46–52	46–61	51–53	51–53
Bärlager, nedre				
Massatyp	AG 22 160/220	AG 22 160/220	AG 22 160/220	AG 22 160/220
Dimensionerad tjocklek (mm)	50	50	50	50
Uppmätt medel (mm)	53	54	55	54
Min–max (mm)	50–58	51–60	53–56	51–57