



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

XLN-asfalt (Xtra Low Noise)

Det støjreducerende, robuste og
fremtidssikrede slidlagskoncept

MUDP-projekt 2019-7107

Juni 2024



”

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Ole Grann Andersson, Teknologisk Institut

Fotos: Teknologisk Institut / Peab Asfalt, hvis ikke anden kilde er angivet ved billede.

Forsidefoto: Udlægning af XLN-asfalt i Vejle Kommune langs nybyggerkvarter.

Oplag: [xxx]

ISBN: [xxx]

Indhold

1.	Forord	5
2.	Sammenfatning og konklusion	6
3.	Summary and conclusions	8
4.	Introduktion	10
5.	Trafikstøj	11
5.1	Generelt om støj	11
5.2	Støjproblemet	12
5.3	Mulige tiltag for støjreduktion	13
5.4	Dæk/vejstøjens mekanismer	14
5.5	Fremtidens trafik med elbiler uden forbrændingsmotor	16
5.6	Måling af dæk/vejstøj (CPX og SPB)	17
5.7	Måling af belægnings overfladetekstur	18
6.	Vejbelægnings og støj	20
6.1	Historisk om vejbelægnings og støj	20
6.2	Erfaringer fra tidligere anvendte asfalttyper	20
6.3	Funktionsegenskaber	21
7.	Ny tilgang: Udvikling på baggrund af støj/tekstur erfaringer i et iterativt forløb	22
7.1	Erfaringsopsamling af tekstur/støj-data fra tidligere udførte, danske belægningstyper	22
7.2	Dataopsamling og konklusioner fra måleserierne	25
7.3	Valg af teksturparametre til parameterstudie	25
8.	Parameterstudie – belægningsoptimering	28
8.1	Udvikling gennem parameterstudie	28
8.2	Valg af indgående råmaterialer (stenmaterialer, bindemiddel)	28
8.3	Genbrugsasfalt – muligheder og udfordringer	29
8.4	Receptafprøvning i laboratoriet – anvendt teknik	30
8.5	Laboratoriedata og valg af receptkandidater	31
9.	Grundlag for fuldskala-afprøvning af asfalttyper	33
9.1	Prøveblandinger på asfaltfabrik af udvalgte recepter	33
10.	Første koncept-afprøvning på vej	34
10.1	Teststrækning på Tuborgvej i København, 2022	34
10.2	Materialedata	36
10.3	Støj og tekstur	36
10.4	Friktion (trafiksikkerhed)	37
10.5	Videre iterationer	37

11.	Genbrug på værk	38
12.	Opfølgende fuldskala-afprøvninger på vej, 2023	40
12.1	Uhre Forbindelsesvej, Vejle Kommune	40
12.2	Juelsmindevej, Vejle Kommune	41
12.3	Lejrevej, Lejre Kommune	44
12.4	Kalkbrænderihavnsgade, Københavns Kommune	46
13.	Opsummering: Funktions-egenskaber og robusthed	50
13.1	Støjreduktion	50
13.2	Rullemodstand	50
13.3	Trafiksikkerhed – friktion	50
13.4	Bæreevne – stivhedsmodul	51
13.5	Sporkøringsmodstand	51
13.6	Holdbarhed: Udmattelsesmodstand	52
13.7	Robust lagtykkelse er vigtig	53
13.8	Revnemodstandsevne	53
13.9	Beskyttelse af underlaget mod vandnedsivning	54
14.	Miljøforhold - Vurdering af klimapåvirkning for hhv. SMA 8 XLN og SMA 6 XLN	56
14.1	Miljøvaredeklarerationer for asfalt – kort fortalt:	56
14.2	Hvad er en miljøvaredeklaration (EPD)?	56
14.3	Eksempel PÅ LCA-beregning	57
14.4	Resultater	58
14.4.1	Total GWP	58
14.4.2	Total GWP ved alternativ anvendelse af tungt stenmateriale	58
14.4.3	Varianter for CO ₂ -besparelse:	58
14.5	Sammenfatning, klimabelastning	59
15.	Endeligt produktvalg og oplæg til standardisering	60
15.1	Forslag til udbudsform (standardtype uden specifik støjdeklaration)	60
15.2	Specifikationer for kornkurve, bindemiddel, hulrum og lagtykkelser	61
16.	Forslag til videre arbejde	62
16.1	Nye muligheder med drænasfalt	62
16.2	Tværgående optimering af dæk og veje	63
17.	Referencer	64

1. Forord

Støj er et af de væsentligste miljøproblemer i den vestlige verden, og heraf er vejtrafikstøjen den altdominerende kilde. Næsten 1,4 mio. danskere er plaget af trafikstøj over den vejledende grænseværdi på 58 dB, og mange boliger er stærkt støjplagede (>68 dB).

De seneste anbefalinger fra WHO (2018) på blot 53 dB tyder endda på, at vi hidtil har undervurderet trafikstøjens skadelighed. Det er i dag velkendt, at trafikstøjen påvirker helbredet med stress, hjerte-/kar-sygdomme, diabetes og cancer m.v. og koster hospitalsindlæggelser og endda menneskeliv. [1], [2], [3]

Samtidigt fylder støjproblemerne mere og mere i dagspressen, hvor der ønskes iværksat tiltag for at reducere trafikstøjen i bolignære områder. Støjen kan reduceres med støjvolde, -skærme og -mure, hvis der er plads til etablering af sådanne. Man kan også støjisolere boligernes facader med 3-lags vinduer og ekstra isolering, men dette vil ofte være både omfattende og omkostningstungt for den enkelte borger. Vejtrafikstøjen kan også reduceres ved trafikomlægninger, eller ved at reducere den tilladte trafikhastighed, så længe dette kan forenes med at sikre den nødvendige fremkommelighed. Endelig kan trafikstøjen reduceres direkte ved kilden – ved anvendelse af mindre støjende dæk og mindre støjende vejbelægninger, hvilket ofte er blevet anført som det mest omkostningseffektive tiltag.

Der har i Danmark været udført forsøg med støjreducerende vejbelægninger siden 1990'erne, men set i et historisk bakspejl har det ofte vist sig, at de støjreducerende vejbelægninger havde en alt for kort levetid – både støjreduktionsmæssigt og holdbarhedsmæssigt som kørebanelægning i det hele taget. De i starten af dette årtusinde introducerede, ofte anvendte, tynde, støjreducerende slidlag af typen "SRS" anvendes således sjældent i dag, grundet de holdbarhedsmæssige udfordringer.

Trafikstøj-problemet er imidlertid ikke blevet mindre igennem de seneste år. En projektgruppe bestående af Peab Asfalt A/S og Teknologisk Institut, med styregruppedeltagelse fra Vejdirektoratet og Københavns Kommune, besluttede derfor at iværksætte et udviklingsprojekt med det formål at udvikle morgendagens robuste og effektive støjreducerende asfaltslidlag, kaldet "XLN" asfalt (en forkortelse for "Xtra Low Noise"). Projektet, som er støttet af miljøstyrelsens MUDP-program, blev bevilliget igangsat i 2019, men grundet Covid19-udfordringer igennem flere år, blev projektet først afsluttet med udgangen af 2023.

Projektets styregruppe bestod af:

- Laboratoriechef Lotte Regel Josephsen, Peab Asfalt A/S
- Sektionsleder Maria Felsgård-Hansen, Teknologisk Institut
- Seniorspecialist Ole Grann Andersson (projektleder), Teknologisk Inst.

I styregruppen deltog endvidere:

- Laboratorieleder Michael Rasmussen, Københavns Kommune TF
- Ingeniør Christian Axelsen, hhv. ing. Henrik Thustrup, Vejdirektoratet

MUDP's deltagelse i projektet:

- Cand.scient.soc. Jens Schultz Thers, Miljøstyrelsen

Projektet har med ny teknologi udviklet og afprøvet en række nye, støjreducerende produkttyper. Denne rapport opsummerer de væsentlige trin i udviklingsforløbet og beskriver afslutningsvis de endelige anbefalinger til morgendagens koncept for støjreducerende slidlag, XLN.

2. Sammenfatning og konklusion

Som nævnt i denne rapports forord, så er vejstøjsproblematikken et stort problem i både Danmark og store dele af verden. Trafikstøjen kommer fra forskellige kilder, hvoraf de væsentligste er motor-, udstødnings- og transmissionsstøj, dæk-/vejstøj og vindstøj. Dæk-/vejstøjen, som opstår, når bilernes dæk ruller hen over vejbelægningen, anses for at være den altdominerende kilde til trafikstøjsbilledet, allerede fra hastigheder omkring 50 km/t og opefter. Der er igennem de seneste årtier arbejdet en del i den danske vejsektor med at udvikle og anvende støjreducerende asfalter, men de hidtil anvendte typer har desværre vist sig at have uhensigtsmæssig kort levetid, både støj- og holdbarhedsmæssigt.

På denne baggrund besluttede XLN-projektgruppen at udvikle et nyt, robust og ekstra støjreducerende slidlag. De tidligere anvendte SRS-belægninger opnåede typisk støjreduktionsværdier i størrelsesorden ca. 3 dB i forhold til den nordiske reference Nord2000. Målet for XLN-projektet var derfor at opnå en belægning med en endnu større støjreducerende effekt på hele 5 dB. Det skal her bemærkes, at en 3 dB reduktion oplevelsesmæssigt svarer til at halvere trafikken eller sænke hastigheden med 20 km/t. En støjreduktion på 5 dB opleves som fjernelse af 65% af trafikken eller opsætning af en støjskærm.

Da der i større eller mindre omfang har været udført forskellige typer af støjreducerende belægninger siden 1990'erne, foreligger der omfattende erfaringer med en lang række af disse belægningers støjreduktion over tid. På en stor del af disse strækninger er der samtidigt foretaget måling af belægningernes overflade-tekstur med laser-baseret udstyr. Projektgruppens udvikling af det nye XLN-koncept har derfor taget udgangspunkt i disse erfaringsdata.

Trafikstøjens udvikling på en bestemt asfaltbelægning kan vanskeligt efterlignes i laboratorieregi. Derfor udvikles nye, potentielt støjreducerende vejbelægninger typisk ved "trial-and-error" metoden, altså forsøgsvis fuldskala-afprøvning på en vejstrækning, hvorpå støjen kan måles. Til gengæld vides det fra de tidligere års indsamlede erfaringsdata fra danske vejstrækninger, at der formodentlig forekommer en vis sammenhæng imellem vejbelægningens overfladetekstur og støjafgivelse.

For at give et mere effektivt og sikkert udviklingsforløb har projektpartnerne i XLN-projektet derfor taget udgangspunkt i et omfattende analysearbejde af foreliggende måledata fra Vejdirektoratets tidligere udførte målinger på støjreducerende slidlag. Den fundne korrelation (tendens) imellem dæk/vejstøj og tekstur er derfor anvendt i laboratoriet som basis for et omfattende prøvningsprogram. Programmet er udført som et parameterstudie, hvor effekten ved variationer af stenstørrelse, kornkurve, stentype og kornform, densitet m.v. sammen med forskellige bindemiddeltyper og fillertyper/-mængder er bedømt. Dette er foretaget på basis af systematiske laboratorieblandinger og fremstilling af laboratorie-indtromlede asfaltplader, som er benyttet til tekstur-optimering med Teknologisk Instituts nye og avancerede, laserbaserede måleværktøj, som simulerer teksturmålingerne udført af Vejdirektoratets målebiler.

På baggrund af parameterstudiet er der opstillet en række tekstur-grænser, hvorefter der – efter indledende forsøgsblandinger på en fuldskala asfaltfabrik – er foretaget forsøgsudlægning på en kommunevej hos samarbejdspartneren Københavns Kommune. På baggrund af de opnåede data er der igennem et videre iterativt forløb videreudviklet på de bedste belægnings-

kandidater, hvorefter der er foretaget nye prøveudlægninger på en række andre kommuneveje rundt omkring i Danmark.

På basis af de herfra opnåede data er der til sidst udvalgt de to mest oplagte XLN-belægninger, som er døbt SMA 8 XLN hhv. SMA 6 XLN. Den førstnævnte har umiddelbart størst robusthed, mens den opnåede støjreduktion ligger på ca. 3 dB set i forhold til den officielle Nord2000 referenceværdi. For SMA 6 XLN er der opnået en større støjreduktionsværdi på ca. 4,7 dB, altså tæt ved projektets oprindelige mål på 5 dB. Denne belægning er til gengæld ikke helt vandtæt og er derfor holdbarhedsmæssigt lidt mere følsom for underlagets tilstand og tæthed. Begge belægninger anvender polymermodificeret bitumen og er større lagtykkelse end SRS-belægningerne, for at sikre større robusthed.

Det er projektgruppens intentioner, at projektresultatet vil blive forelagt for Vejdirektoratets vejregelgruppe for varmblandet asfalt, med henblik på mulig indarbejdelse i AAB for varmblandet asfalt som nye standardtyper. Der tænkes ikke introduceret et nyt, kompliceret støjdeklarations- og målesystem, som tidligere anvendt for SRS-belægninger. I stedet for vil belægningerne kunne benyttes som standard-belægninger på lige fod med andre varmblandede slidlag – og når XLN-varianten vælges, ved man blot, at der er valgt et støjreducerende, robust koncept. Det er projektgruppens opfattelse, at en sådan, simplificeret tilgang bedst vil kunne sikre en bred anvendelse af de nye XLN-belægninger uden omfattende fordyrelser til deklarationssystemer og specifikke målinger. Et udkast til specifikationer for XLN-belægningerne fremgår af rapportens afsnit 14.

3. Summary and conclusions

The traffic noise is considered a large problem in Denmark as well as in large parts of the world in general. The traffic noise is emitted from different sources, of which the most dominating sources are engine/exhaust noise, tyre/road noise and wind generated noise (at high speeds). The tyre/road noise is generated when the car tyres are rolling on top of the road pavement surface and is considered to be the dominating source at all traffic speeds from 50 km/h and upwards. During the latest decades, a lot of work has been done in the Danish road sector, with the purpose to develop and implement noise reducing asphalt wearing course types. However, the latest most commonly used, so called 'SRS' noise reducing thin asphalt types, have unfortunately shown to expel much shorter durability than expected – both when it comes to mechanical robustness and noise reducing life time performance.

On this background, the XLN project group decided to develop a new, more robust and extra noise reducing asphalt wearing course type. The previously used 'SRS'-pavements obtained typically a noise reduction close to 3 dB (when compared to the Nordic standard reference value from 'Nord2000'). The goal for the XLN-project was thus set to aim for an even larger noise reduction of 5 dB. It should be noted, that a noise reduction of 3 dB corresponds to remove 50% of the traffic or reduce the traffic speed by 20 km/h. A noise reduction of 5 dB corresponds to remove 65% of the traffic or to install a noise barrier wall.

Since the 1990'ies, experiments with noise reducing pavements have on several occasions been performed on Danish roads, as well as the more general use of 'SRS'-pavements in the mid 2000'ies to 2010'ies. Thus, comprehensive experience with a large number of these pavements noise reducing effect over time is available. On a large number of these sections, the pavement surface texture has also been measured by laser-based equipment mounted on cars from the Danish Road Directorate (DRD). The project group's development program has thus taken its starting point in a study of these experience data.

It is unfortunately very difficult to simulate and measure the traffic noise development on a specific pavement surface on a laboratory scale. Thus, new potentially noise reducing road pavements are typically developed and tested by the 'trial-and-error'-method, where ideas for new pavements are sporadically full-scale paved and tested for potential noise reduction. On the other hand, it is known from the recent years' experience data, that a certain correlation between road pavements' surface texture and noise reducing ability seems to exist.

To ensure a more consistent and effective course for the project's pavement development program, the project partners of the XLN-project chose to start the planning with a comprehensive study of the available data from the Danish Road Directorate's previously performed measurements of noise and texture on Danish noise reducing pavement types. The derived correlation (or tendency) between measured tyre/road noise emission and surface texture has thus formed the basis for a comprehensive test program. The test- and development program was executed as a study of parameters, where the effects from variations in aggregate size, grain distribution (grading), aggregate type and shape, density etc. were evaluated together with variations in binder and filler types and quantities added to the mix. The tests were carried out on the basis of systematic laboratory mixed materials from which smaller test slabs were produced and compacted in the laboratory. These plates were then used for surface texture determination by use of Danish Technological Institute's new, advanced laser-based laboratory equipment, to simulate the surface texture measurements performed on the road by DRD:

Based on the performed study of parameters, a set of specifications/limits for surface texture was decided. After initial test mixing of the chosen recipes on a full-scale asphalt plant, test sections were paved in late summer 2022 on a trafficked municipality road in Copenhagen by the municipality's asphalt crew. From the obtained data and noise/texture measurements, followed by an iterative progress of development, the best performing candidates were chosen for new test sections performed on several municipality road sections across Denmark.

From the obtained data of the first full scale sections and the following iterative laboratory tests, the two best performing candidates for XLN-pavements were chosen and named SMA 8 XLN and SMA 6 XLN. The first of these is considered to show largest robustness and showing a noise reduction capacity of approx. 3 dB, when compared to the Nord2000 standard reference. For SMA 6 XLN a larger noise reduction potential of approx. 4,7 dB has been determined, which is close to the 'golden' project goal of 5 dB noise reduction. However, the SMA 6 XLN is not considered watertight and thus durability-wise more sensitive to the denseness and condition / level of maintenance of the underlaying pavement's surface. Both pavement types are based on polymer modified bitumen and to ensure a higher degree of robustness, a paving thickness is introduced, which is higher than what was previously used for the 'SRS'-pavements.

It is the intentions of the project group that the results of the XLN-project will be presented to Danish Road Directorate's (DRD) standardization group for hot mix asphalt, with the aim to possibly include the XLN pavements as new standard pavement types in DRD's national standard specifications ('AAB') for asphalt works. It should be noted, that it is not the intention to (re)introduce a new, complicated noise declaration and measurement system, as for the previously used 'SRS' pavements. Alternatively, the new pavements should be used as standard pavement types on the same way as for other hot mix asphalt wearing courses listed in the AAB. When an XLN pavement is chosen, it is simply known that the most noise reducing standard pavement has been chosen. It is the opinion of the project group that such a simplified approach to obtain more noise reducing pavements will be the most effective way to ensure a wide use and implementation of the new XLN-pavements, without causing unnecessary extra costs for complicated declaration systems and individual, specific noise measurements. Suggested specifications for XLN-pavements can be found in chapter 14 of this report.

4. Introduktion

Asfaltveje har igennem mere end et århundrede været kendt, anerkendt og anvendt i Danmark for sin gode robusthed og fleksibilitet, som med det rette design sikrer en lang uproblematisk levetid uden omfattende problemer forårsaget af trafikken eller vejrpåvirkningerne.

Dansk asfaltvejbygning har også igennem årene løbende og ret hurtigt kunnet tilpasses til at imødegå nye udfordringer, f.eks. øget sporkøringsrisiko ved introduktion af supersingle-hjul.

Der hersker således ingen tvivl om at vejbelægningernes primære funktion er at yde en langtidsholdbar vejoverflade, som år efter år sikkert og komfortabelt kan bære trafikens slid og påvirkninger, så samfundets vigtige infrastruktur kan opretholdes.

Igennem de senere år har man dog fået øjnene op for, at asfalt-vejbelægninger foruden den primære funktion også kan tilføre flere forskellige 'add-on' gevinster, til gavn for samfundet og det omgivende miljø, herunder f.eks. lavere rullemodstand, som sikrer at trafikens CO₂-udledning sænkes.

En af disse vigtige egenskaber er, at asfalten kan tilpasses til at reducere niveauet af den genererede støj, som opstår, når bilens hjul ruller hen over vejbelægningen.

Der har i Danmark igennem flere årtier været eksperimenteret med at udvikle særligt støjsvage vejbelægninger. De hidtidige erfaringer har dog vist, at de tidligere, forsøgsvis anvendte støjreducerende belægninger udviste for korte levetider – både med hensyn til støjreduktion og med hensyn til "fysisk" holdbarhed, hvorfor anvendelsen de seneste år har været begrænset.

Til gengæld er trafikintensiteten på vejnettet steget fra år til år, så støjproblemet er vokset større end nogensinde før, hvilket også jævnligt omtales i dagspressen.

XLN-projektets deltagere besluttede derfor at igangsætte et nyt udviklingsprojekt, med det formål at udvikle morgendagens støjreducerende slidlag, som foruden en effektiv støjreduktion også kunne sikre robusthed og lang holdbarhed samt en uproblematisk anvendelse.

Læs mere om projektets enkelte faser og resultater i de efterfølgende afsnit.

Rapportens sidste afsnit omfatter projektgruppens forslag til et muligt videre arbejde med udvikling af andre, mere specielle typer af støjreducerende vejbelægninger.

5. Trafikstøj

5.1 Generelt om støj

Støj kan kort defineres som uønsket lyd. Det er derfor ikke alle, som oplever støj på samme måde. Eksempelvis kan et højt lydniveau fra en rock-koncert af nogle opfattes som behagelig lyd, hvorimod andre ser det som uønsket støj. Når vi taler om trafikstøj, er det dog opfattelsen, at alle betragter det som uønsket lyd, omend tolerancen kan være forskellig fra individ til individ.

Støj måles i enheden deciBel, som har en logaritmisk skala. Nedenstående figur 5.1 viser støjniveauet for en række forskellige støjklender, som kan forekomme i hverdagen.

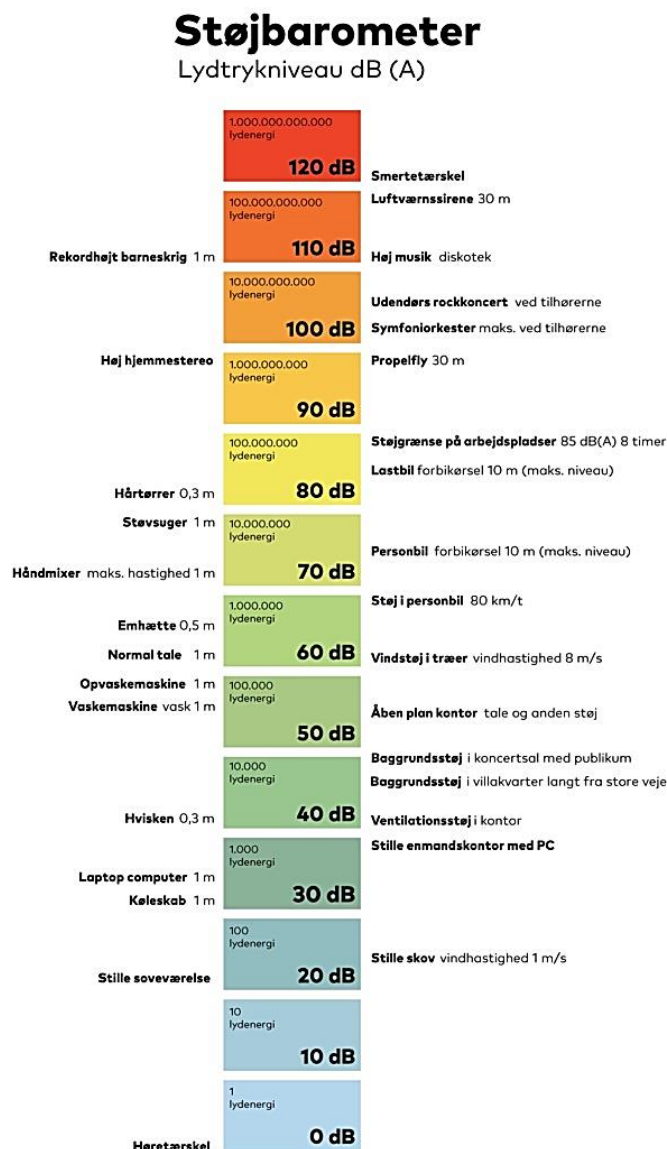


Fig. 5.1: Eksempler på støjniveauer efter deciBel-skalaen. [4]

En deciBel-værdi på 0 dB svarer til den svageste lyd, en normalt hørende kan opfatte, og 120 dB svarer til smertegrænsen. Af figuren kan man se, at en ændring på 10 dB svarer til en ændring af lydeniveauet med en faktor 10. Nogle få dB kan altså være udtryk for en stor ændring af lydeniveauet.

5.2 Støjproblemet

Støj er et af de væsentligste miljøproblemer i den vestlige verden, og heraf er vejtrafikstøjen den altdominerende kilde. Næsten 1,4 mio. danskere er plaget af trafikstøj over den vejledende grænseværdi på 58 dB, og mange boliger er stærkt støjplagede (>68 dB). De seneste anbefalinger fra WHO (2018) på blot 53 dB tyder endda på, at vi hidtil har undervurderet trafikstøjens skadelighed. Det er i dag velkendt, at trafikstøjen påvirker helbredet med stress, hjerte-/kar-sygdomme, diabetes og cancer m.v. og koster hospitalsindlæggelser og endda menneskeliv.

Miljøstyrelsen skønnede i 2003, at 200-500 danskere hvert år dør for tidligt på grund af trafikstøj - og der kommer til stadighed nye resultater om trafikstøjens gener, som gradvist gør os klogere. Til sammenligning trafikdræbes i 2023 155 personer (jf. Vejdirektoratet). I modsætning til trafikdræbte kan man dog ikke sætte navn på dem, der dør som følge af trafikstøj. Støj er således en langsom dræber.

På europæisk plan er ca. 125 mio. europæere påvirket af trafikstøj, heraf er de 20 mio. direkte generet. Det anslås, at 18.000 mennesker dør for tidligt hvert år i Vesteuropa, som følge af støj. De samlede samfundsøkonomiske omkostninger i Europa anslås til ca. 36 mia. Euro om året – alene på grund af vejstøj.

FN's 2030-verdensmål angiver da også, at præmatur dødelighed og negativ miljøbelastning skal reduceres. Alle større byer har i dag en støjhandleplan, jf. EU's bestemmelser. Spørgsmålet er "blot", hvordan man effektivt kommer i mål.

[1] [2] [3].



Fig. 5.2.1: FN's verdensmål omfatter også trafikstøj gennem reduktion af præmatur dødelighed og negativ miljøbelastning

I den seneste tid har det i dagspressen jævnligt været omtalt, at der af støjhensyn ønskes eller foretages hastighedsnedsættelser på en række af vores mest trafikerede motorveje og indfaldsveje til byerne, da dæk-/vejstøjen reduceres med faldende hastighed. Tilsvarende har bl.a. Københavns Kommune gennemført hastighedsnedsættelser på en lang række vejstrækninger.

Endelig har der i dagspressen været omtalt seriøse planer om bl.a. at overdække dele af Øresundsmotorvejen og Helsingørmotorvejen, for på den måde at "lægge låg på støjen" – efter inspiration fra bl.a. Hamburg. Om det er økonomisk muligt under danske forhold vil tiden vise, men de seriøse planer viser under alle omstændigheder, at støjplagen er et alvorligt og fortsat stigende problem, som fylder i mange danskeres hverdag. [5]

Samtidigt bør man til sidst huske på, at en vel vedligeholdt vejbelægning afgiver mindre støj end en slidt, ujævn, lappet og hullet vej – så allerede ved at intensivere vedligeholdet kan der opnås støjreduktion!

5.3 Mulige tiltag for støjreduktion

Trafikstøjen består i det væsentlige af motorstøj og dæk-/vejbanestøj, hvor sidstnævnte er den altdominerende støjkilde ved trafikhastigheder over ca. 50 km/t. Endelig spiller vindstøjen også i stigende grad ind ved meget høje hastigheder.



Fig. 5.3.1: Trafikstøjens væsentligste bidragsydere.

For lastbiler er situationen en smule anderledes. Her bliver støjen fra kontakten mellem dæk og vejbanen først dominerende ved hastigheder over 60 km/t.

Støjen kan bl.a. reduceres ved at anvende støjsvage dæk og støjreducerende vejbelægninger. Støjen kan desuden reduceres ved afskærmning med støjskærme og -volde eller facadeisolerings af boliger [1] [6], [7]. Disse løsningstyper er dog alle ret kostbare. Skærme og volde er desuden pladskrævende og ofte vanskelige at integrere i bybilledet.

Alternativt kan man reducere støjen ved at nedsætte den tilladte hastighed, eller ved at gennemføre trafikomlægninger, hvor dette er praktisk muligt. Endelig er der en mulighed for at overdække dele af stærkt trafikerede veje, som det bl.a. er set foretaget ved Elbtunnelen i Hamborg, hvilket dog er en særdeles omkostningstung løsning.

Ændring i støjniveau	Oplevet ændring	Eksempler på metoder for støjdæmpning
1 dB	Meget lille ændring	- Fjerne 25% af trafikken, - Sænke hastigheden 10 km/t
3 dB	Hørbar men lille ændring	- Fjerne 50% af trafikken eller 100% af tunge trafik - Sænke hastigheden 20 km/t - Anvende støjreducerende asfalt (SRS)
5 dB	En væsentlig og tydelig ændring	- Fjerne 65% af trafikken - Anvende støjskærme eller - Anvende særlig effektiv støjreducerende asfalt
10 dB	Stor ændring, lyder som halvering	- Fjerne 90% af trafikken - Anvende høje støjskærme/støjvolde - Anvende lyddæmpende vinduer i stedet for dårlige
20 dB	Meget stor ændring	- Fjerne 99% af trafikken - Bygge etageboliger med lukkede gårdrum

Fig. 5.3.1: Eksempler på oplevelse og effekt af forskellige tiltag for støjreduktion. [4]

Hvor trafikhastigheden er over 50 km/t er det økonomisk mest effektive tiltag i første omgang at bekæmpe støjen direkte ved kilden, ved at anvende mindre støjende dæk og støjreducerende vejbelægninger. Til gengæld giver det ikke nogen signifikant effekt at anvende støjreducerende asfalt i fx 40 km/t zoner, rundkørsler o.l., hvor motorstøjen er den dominerende støjkilde.

5.4 Dæk/vejstøjens mekanismer

Dæk-/vejstøjen opstår som følge af en række forskellige mekanismer, når bildækket ruller hen over vejbelægningen. Hvis belægningen er ujævn eller er "grovkornet" med store sten i overfladen, vil der opstå dækvibrationer, som fremkalder lavfrekvent rumlestøj. Er belægningsoverfladen til gengæld meget tæt vil der opstå luftpumpestryk, når luften presses ud under dækket ved passage på vejen og efterfølgende suges ind igen, hvilket giver højfrekvente "sluurlp"/"pissst" lyde, hvor sidstnævnte især er generende i forhold til det menneskelige øres hørefølsomhed. Det er typisk sidstnævnte, højfrekvente, syngende lyd, som kan høres på lang afstand fra stærkt trafikerede veje.

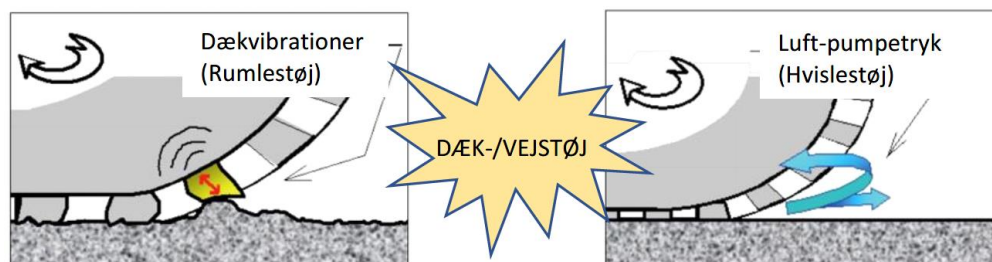


Fig. 5.4.1: Dæk-/vejstøjens mekanismer [6] [7]

Samtidig skal en belægning helst være tæt ned igennem laget for at sikre imod regnvandsnedsivning, som kan beskadige den underliggende vejkonstruktion. Den ideelle belægning er derfor et slidlag, som er tæt og har en finkornet sammensætning, men samtidigt har en overfladetekstur (hulrumsdybde og fordeling), som netop undgår dannelse af de høje luftpumpestryk.

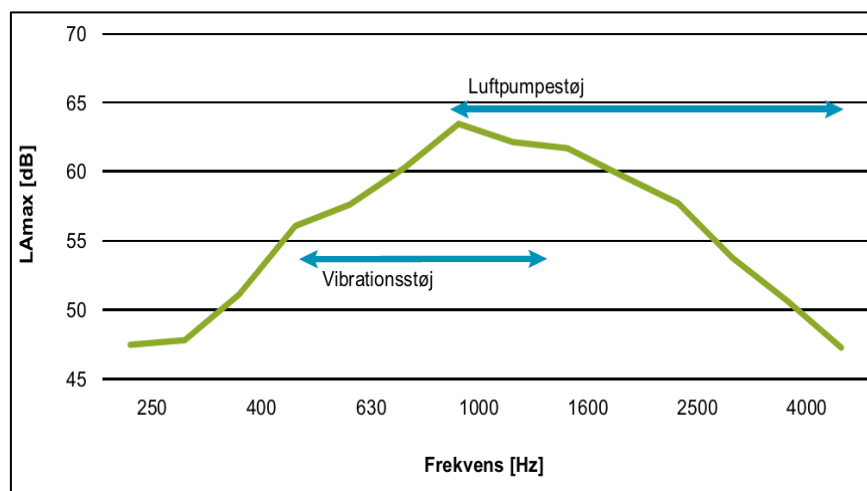


Fig. 5.4.2: Eksempel på frekvensområder for luftpumpestøj (højfrekvent) og rumle-/ vibrationsstøj (lavfrekvent). [6]

Ovenstående figur 5.4.2 viser et typisk billede på trafikstøj målt med SPB-metoden (mere herom i afsnit 5.6). I diagrammet er støjfrekvensen afbilledet på x-aksen og støjniveauet i decibel angivet på y-aksen. Bemærk at støjniveauet peaker omkring ca. 1.000 Hz, som også er det område, hvor det menneskelige øre har størst hørefølsomhed.

Dækindustrien arbejder samtidigt løbende på at udvikle nye, mindre støjende dæktyper, understøttet af den europæiske dækmærkningsordning. En undersøgelse foretaget af projektgruppen viser på baggrund af opslag på dækcentres hjemmesider, at der fint kan opnås 4-5 dB støjreduktion ved blot at vælge det mindst støjende personbilsdæk frem for det mest støjende dæk i præcis samme dimension. Det er derfor muligt for den enkelte bilejer at bidrage væsentligt til støjreduktionen blot ved at vælge blandt bildæk med lavest deklarerede støjni-

veau (se label, fig. 5.4.3). Husk at støjformindskelsen på 5 dB svarer til at fjerne 65% af trafikken på vejen eller at opsætte en støjskærm, jf. tabel 5.3.1 på forrige side.

En kombination af en støjreducerende vejbelægning og støjsvage dæk vil således være effektiv til reduktion af selve genereringen af støjen.



Fig. 5.4.3: Dækindustrien anvender i dag mærkning af bildæk, hvor støjniveauet er deklareret.



Fig. 5.4.4: Eksempel på oplysning om støjafgivelse fra en dækleverandørs hjemmeside (fabrikatet er her afdækket). Grønmarkeringen viser det deklarerede støjniveau for dækket – Det er derfor enkelt at tage trafikstøjsafgivelsen med i betragtning, når nye dæk bestilles.

5.5 Fremtidens trafik med elbiler uden forbrændingsmotor

Når bilparken frem imod år 2030 forventeligt i højere grad består af elbiler, forsvinder motorstøjen næsten helt. Dæk-/vejstøjen bliver derfor den dominerende støjkilde i og omkring byerne fremover – også ved lave trafikhastigheder.

Elbiler er grundet de store og tunge batterier typisk en del tungere end tilsvarende personbiler med traditionel forbrændingsmotor – måske op imod 25% tungere, idet en typisk elbil ofte samtidigt er konstrueret som en større SUV-type, bl.a. for at kunne bære det tunge batteri. Dette giver ikke blot et væsentligt større slid på vejene, men som følge af elbilernes ofte større og bredere dæk opstår der forventeligt også højere dæk-/vejstøjsafgivelse, når elbilerne ruller hen over vejbelægningen.

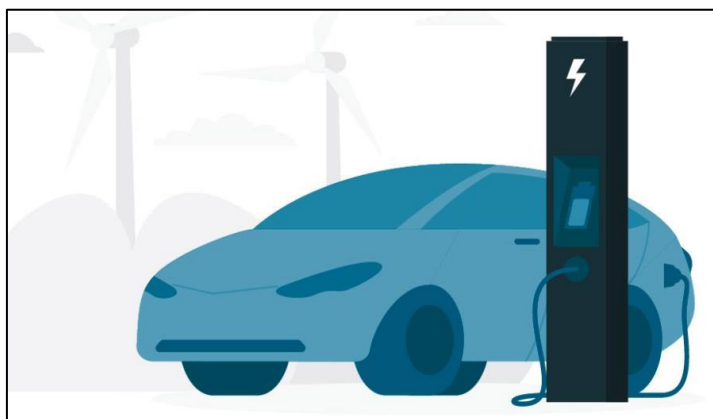


Fig. 5.5.1: Med elbiler undgås støj fra forbrændingsmotorer, men dæk-/vejstøjen bliver ikke reduceret.

Optimeringen af dæk og vejbelægninger vil forventeligt have mindst samme effekt fremadrettet som i dag: Dæk-/vejstøjen vil ikke være et problem "som går over med tiden af sig selv", så længe man fortsat anvender rullende køretøjer.

For lastbiler er motorstøjen, som før nævnt, typisk dominerende helt op til 60 km/t. I områder med meget varelevering vil der derfor kunne forventes en mærkbar effekt ved indførelsen af el- og hybrid-lastbiler. Effekten vil både opleves, når lastbilerne kører til og fra butikkerne, men også når de for eksempel kører i tomgang under levering. I Miljøstyrelsens projekt "Støjsvag varelevering til butikker" er der foretaget målinger af forskellige typer lastbiler ved 15 km/t. Her støjer en hybrid-lastbil på el-drift ca. 15 dB mindre end en almindelig lastbil. [4]



Fig. 5.5.2: Med nye el- og hybrid-lastbiler kan støjen dæmpes op til 15 dB i forbindelse med vareleveringer i byer.

5.6 Måling af dæk/vejstøj (CPX og SPB)

Trafikstøj måles traditionelt ved såkaldt "SPB-måling" ("Statistical Pass-By"), hvor en mikrofon opstilles i vejsiden og måler støjen fra passerende biler over et givent tidsrum, hvorefter niveauet sammenlignes med en referencebelægning. Alternativt anvendes typisk en forud defineret referenceværdi. Ved danske støjmålinger holdes støjniveauet således oftest op imod en nordisk reference-støjværdi fra "Nord2000" [8], svarende til et ca. 6-8 år gammelt standard slidlag.



Fig. 5.6.1: Princip for vejside-støjmåling med mikrofonopstilling (SPB-metoden) [9]

Alternativt har man igennem igennem de seneste årtier regelmæssigt foretaget målinger efter "CPX"-metoden (Close Proximity), hvor der anvendes en speciel støj-måletrailer, som med påmonterede mikrofoner måler den støj, der udvikles direkte ved dæk/vejkontakten.

CPX-målinger er hurtigere og mere bekvemme at gennemføre og dermed også mindre kostbare. Resultatet er et direkte udtryk for den genererede støj mellem dæk og vejbelægning og tager dermed ikke hensyn til f.eks. motorstøj eller påvirkning fra forbipasserende køretøjer eller eksterne støjkluder langs vejen. Da støj i bygninger og omgivelser normalt relaterer til SPB-metoden, har man i Danmark valgt at omregne CPX-støjmålinger til korrelerende SPB-værdier. Dette princip er også anvendt i denne rapportes efterfølgende afsnit.



Fig. 5.6.2: Vejdirektoratets "DeciBella" CPX-trailer [9]



Fig. 5.6.3: Nærbillede mikrofon [9]

5.7 Måling af belægnings overfladetekstur

Vejbelægnings overfladetekstur spiller en væsentlig rolle for det generede niveau af dæk/vejstøj. Som nævnt i et tidligere afsnit er det nødvendigt at have en vis porestruktur i overfladen for at undgå de højfrekvente luftpumpestryk. Samtidigt er det vigtigt at minimere omfanget af især grove partikler, som "stikker op af belægningsoverfladen", idet disse ellers skaber rumlestøj fra dækvibrationer.

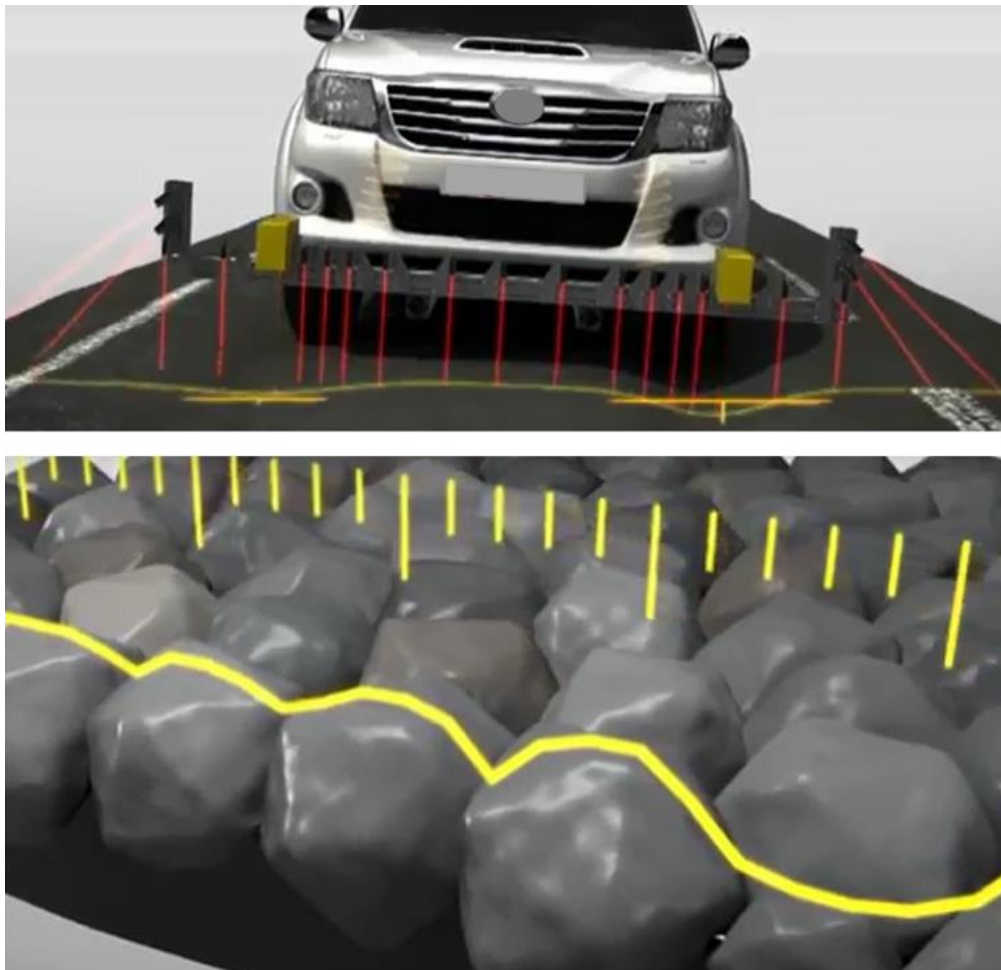


Fig. 5.7.1: Princip for laserbaseret teksturmåling [1]

Vejdirektoratet måler jævnligt overfladeteksturen på statsvejenes belægnings som en del af den regelmæssige tilstandsvurdering. Dette foretages med en målebil med påmonteret tværstillet og gyroophængt bjælke med et antal lasere, som hver især løbende måler afstanden ned til belægningsoverfladen, hvorefter teksturdybden kan beregnes. Det mest almindelige begreb til vurdering af teksturdybden er den såkaldte MPD-værdi (Mean Profile Depth), som definerer den gennemsnitlige profildybde i forhold til overfladens nulpunkt. Profildybden kan også udtrykkes ved MTD (Mean Texture Depth), som er en fra MPD omregnet værdi, som omtrentligt svarer til gamle dages "sandpletmålinger". Uanset målemetode giver MPD-tallet dog et gennemsnitstal for en belægning eller strækning, men giver i sig selv ikke et eksakt billede på de enkelte porers individuelle dybde og antal.

Da Vejdirektoratet igennem en del år har gennemført teksturmålinger på samme strækninger, som hvor der er udført CPX-støjmålinger, har XLN-projektgruppen valgt at kigge nærmere ind i denne sammenhæng, for måske at kunne udlede en korrelation, som kunne benyttes til fremtidig belægningsoptimering. Dette er nærmere omtalt i efterfølgende afsnit 7.

I forbindelse med optimeringen af støjreduktionseffekten for forskellige receptsammensætninger har Teknologisk Institut derfor i laboratoriet foretaget tilsvarende teksturmålinger med et mindre, men ligeledes laser-baseret måleudstyr, ELA fra IWS Messtechnik. Dette udstyr kan måle teksturdybden på en lille laboratoriefremstillet asfaltplade, lidt større end et A4-ark. Den indbyggede måle-laser foretager en cirkulær målebevægelse, hvorefter teksturprofilet kan udlæses og et MPD eller MTD-tal beregnes.



Fig. 5.7.2: Avanceret, laserbaseret udstyr til teksturmåling af asfaltplader i laboratoriet. [1]

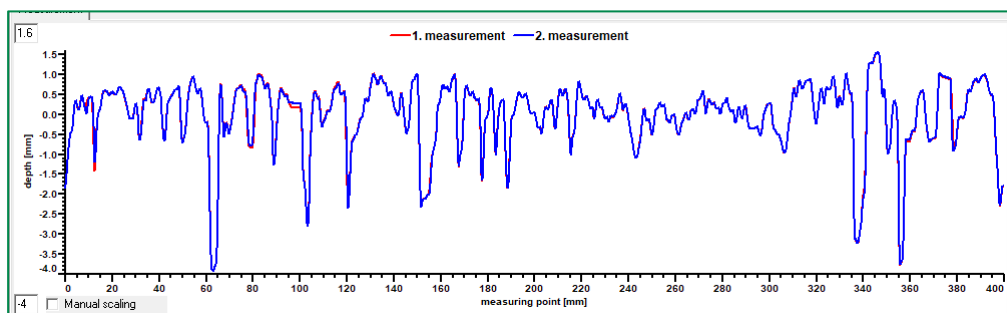


Fig. 5.7.3: Eksempel på teksturprofil på asfaltplade

Til trods for at Vejdirektoratets målebil måler over en strækning og Teknologisk Instituts udstyr kun måler punktvis på cirkler med begrænset radius, er der ved de i rapporten senere omtalte forsøgsudlægninger fundet rimelig overensstemmelse (om end en vis niveauforskydning) for, at det håndbårne udstyr kan anvendes som et nøgleredskab ved asfaltoptimering i laboratoriet. ELA teksturmåleren er derfor anvendt i det videre udviklingsforløb i dette projekt.

6. Vejbelægninger og støj

6.1 Historisk om vejbelægninger og støj

Historien viser, at det ikke er et nyt emne at fokusere på støjen fra den kørende trafik på vejene. Faktisk var reduktion af trafikstøj et af argumenterne for, at man i 1890 udførte de første danske asfaltbelægninger på Østergade og Købmagergade i København.



Fig. 6.1.1: Asfalteringen af Østergade i København, august 1890. Tegnet af Poul Fischer. [10]

Asfaltbelægningerne var enestående, idet såvel automobiler som hestevogne og gående nu kunne færdes "tyst" i de mondæne kvarterer. Specielt forsvandt støjen fra de metalbelagte hestevognshjuls rullen hen over den daværende vejbelægnings bro- eller chaussésten. [10]

6.2 Erfaringer fra tidligere anvendte asfalttyper

Med asfaltens introduktion og udbredelse på de danske veje blev støjbilledet ændret markant. I 1960'erne introducerede man de såkaldte "tæppebelægninger" som var finkornede slidlag, som helt sikkert dæmpede rumlestøjen. Samtidigt er der dog op igennem mere end et århundrede sket en fortsat udvikling i trafikmængden og antallet af køretøjer på de danske veje. Støjproblemet er derfor i dag et af vores allerstørste miljøproblemer i byer og bynære områder, samt langs hovedfærdselsårerne.

De første officielle og veldokumenterede teststrækninger med støjreducerende asfalt blev udført allerede i 1990 på Skovvejen ved Viskinge. Forsøgene blev efterfulgt af drænasfaltbelægninger på nogle Københavnske bygader, og udmundede sidst i 1990'erne – efter hollandsk forbillede – i udlægningen af en markant støjreducerende, men samtidigt overordentlig kostbar, to-lags drænasfaltbelægning på Øster Søgade i København. Sådanne belægninger kræver dog en række særlige foranstaltninger, herunder særlige vintersaltningsprocedurer, samt løbende rengøring af porerne med specielle spule-/sugekøretøjer. En langt billigere vej til at opnå en vis støjreduktion blev i 2003 introduceret gennem den danske deltagelse i det europæiske forskningsprojekt "SILVIA". Under dette projekt udførtes på Kongelundsvej i Køben-

havn en serie tynde støjreducerende belægninger, som både prismæssigt og levetidsmæssigt lå tættere op ad traditionelle asfaltslidlag end, hvad der umiddelbart var opnåeligt for drænasfalt. Disse tynde støjreducerende belægninger blev efterfølgende videreoptimeret og vejregl-standardiseret i 2006 under typebetegnelsen SRS, som er en forkortelse for Støj Reducerende Slidlag. [10]

Efter nogle år med succesrig fremgang og udbredelse i specielt det Storkøbenhavnske område, opstod der imidlertid hyppige holdbarhedsproblemer efter nogle atypisk hårde isvintre i 2009 - 2011. På basis af de indhøstede erfaringer blev der udarbejdet en ny 2. generations-rapport, som mere detaljeret beskrev forudsætningerne for succes ved anvendelse af SRS-belægninger, herunder primært skærpede krav til underlagets tilstand, tæthed og karakter. Anvendelsen af SRS-belægninger er dog i dag meget begrænset, selvom behovet for støjreducerende asfalt er mere udtalt end nogensinde før, hvilket var baggrunden for igangsættelsen af XLN-projektet.

6.3 Funktionsegenskaber

Hvor asfaltbærelagenes primære funktion, ligesom for de ubundne grusbærelag, er at sikre vejkonstruktionens bæreevne overfor den kørende trafik, ved at sikre tilstrækkelig trykspredning og aflastning på underlaget, så er slidlagets funktionsegenskaber betydeligt mere omfattende.

Slidlaget skal have god jævnhed af hensyn til kørselskomfort, afledning af regnvand etc. Samtidigt skal slidlaget kunne tåle den direkte påvirkning fra de rullende køretøjers dæk, hvorfor overfladen både skal være slidstærk og holdbar. Slidlaget skal også beskytte de underliggende lag i vejens opbygning mod vandnedsivning, opblødning og nedbrydning. Endelig skal slidlaget sikre gode trafiksikkerhedsmæssige forhold gennem en god friktion og tekstur og endelig spiller økonomien naturligvis også ind mht. det endelige belægningsvalg.

Et andet fokusområde har igennem de seneste årtier været at sikre, at vejbelægningernes overflade (efter afslidning af de sorte bitumenhinder i toppen) opnåede en så stor lyshed, at gadelampenes energibehov kunne holdes passende lavt, samtidigt med at den lyse vejoverflade trafiksikkerhedsmæssigt om natten sikrede en god synlighed af medtrafikanter og genstande på vejen. Den i dag udbredte anvendelse af lavenergi-armaturer af LED-typen har dog reduceret energiforbruget i gadelamperne så meget, at vejoverfladens lyshed energiforbrugsmæssigt har fået en mere begrænset effekt.

I de senere år er der desuden kommet fokus på, at vejbelægningerne i tilgift til de primære funktionsegenskaber desuden kan skabe "add-on"-merværdi ved f.eks. at reducere trafikstøjen, samt reducere rullemodstanden, hvorved bilisterne bruger mindre brændstof og der derved spares CO₂-udledning fra trafikken. Specielt i byområder er der også fokus på klimasikring, så de kraftige og pludselige nedbørsmængder, som er en følge af klimaforandringerne, bedre kan bortledes effektivt. Her er permeable belægninger og anvendelse af drænasfalt en løsningsmulighed, som både kan tilgodese mere effektiv afdræning og mindre vejstøj. Dette er bl.a. belyst i det tidligere gennemførte MUDP-projekt "Klimavejen" [12] i ved udvikling og optimering af drænasfalttyper, som både er støjreducerende og drænende. Erfaringerne viser dog, som tidligere nævnt, at sådanne belægninger medfører en række meromkostninger. Ikke desto mindre prioriteres drænasfalt dog som udbredt belægningsvalg på f.eks. hollandske motorveje

Som indledningsvis nævnt er projektets formål at udvikle morgendagens støjreducerende, robuste slidlag, som kan anvendes "allround" uden at skulle stille samme nødvendige krav til underlaget, som det er nødvendigt for drænasfalt og som det viste sig at være nødvendigt for de tidligere anvendte, ganske tynde SRS-belægninger. Samtidigt skal XLN-belægningerne være rimeligt økonomiske og kunne anvendes i bredt omfang ved både renovering og nykonstruktion af danske veje.

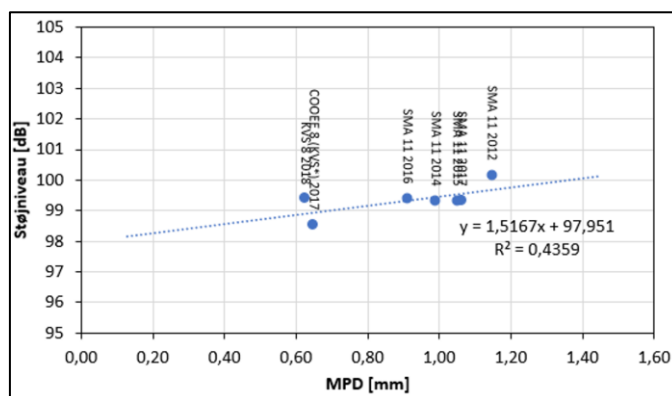
7. Ny tilgang: Udvikling på baggrund af støj/tekstur erfaringer i et iterativt forløb

Da det på forhånd var projektgruppens forventning, at der findes en vis sammenhæng imellem vejbelægnings overfladetekstur og støjafgivelse, blev dette forhold benyttet som nøgleparameter i udviklingsforløbet. Først skulle sammenhængen fastslås på baggrund af Vejdirektoratets omfattende serier af måledata for støj og tekstur, målt på en række strækninger over adskillige år. Dernæst skulle dette benyttes til at finde den for støjreducerende asfaltbelægnings mest optimale overfladetekstur. Herefter skulle disse tekstur-karakteristika danne grundlag for belægningsoptimering gennem et omfattende parameterstudie i laboratoriet, hvor teksturværdierne for en række små asfaltplader af de forskellige receptsammensætninger kunne måles med Teknologisk Instituts avancerede laser-teksturmåleudstyr, så de mest optimale receptsammensætninger kunne udvælges til den endelige fuldskala-afprøvning på vej. På denne måde kunne den traditionelle, men langsomme "trial-and-error"-baserede udvikling, som alene er baseret på baggrund af fuldskala-tests, erstattes af et effektivt optimeringsforløb i laboratoriet. Herved skulle der blot til sidst afsluttes med enkelte fuldskala-udlægninger af de på forhånd fundne bedst egnede kandidater.

7.1 Erfaringsopsamling af tekstur/støj-data fra tidligere udførte, danske belægningstyper

Vejdirektoratet har igennem de seneste årtier gennemført målinger af både teksturdybde og CPX-vejstøj på en lang række statsveje og som opfølgning på forsøgsstrækninger i diverse udviklingsprojekter. Projektgruppen har på denne baggrund indhentet omfattende data fra en lang række af de strækninger, hvor der (omtrent) samtidigt er foretaget målinger af begge parametre. Disse strækninger omfatter bl.a. serier af forsøgsstrækninger med forskellige varianter af SRS støjreducerende slidlag samt tilhørende referencebelægnings (typisk AB 8t eller SMA 11). Desuden foreligger et antal tidsmæssigt mere regelmæssigt udførte målinger på motorvejsslidlag, primært af typen SMA 11. De indhentede data omfatter således et stort antal forskellige slidlagstyper med forskellige aldre (op til 15 år eller mere), udlagt i forskellige lagtykkelser, og målt med forskellige kørselshastigheder.

Nedenstående figur 7.1.1 viser sammenhængen imellem målt støjniveau og middelteksturdybde (MPD) for en række målinger på motorvejsbelægnings af samme typer (SMA 8 KVS hhv. SMA 11) med forskellige aldre.



Det fremgår, som forventet, af figur 7.1.1, at der med stigende alder også sker en lille stigning i støjniveauet, om end den ikke er entydig. Samtidigt synes der at ses en stigning i MPD-tallet, altså belægningens gennemsnitlige teksturdybde. Sidstnævnte hænger antageligvis sammen med at belægningsoverfladen med tiden slides mere ujævn og at stenene ikke entydigt fastholdes i sin oprindelige position, hvorved den positive, opadrettede tekstur stiger. Med flere grove partikler, som "stikker op af belægningen" stiger dækvibrationer og dermed især rumlestøjen. Dette bekræftes også af fig. 7.1.2, som viser sammenhæng mellem støj og tekstur for en række forskellige SRS-forsøgsbelægninger udført på forskellige tidspunkter. Her ses igen, med en vis variation/usikkerhed, at de ældste belægninger *både* udviser højest støjniveau og størst teksturdybde.

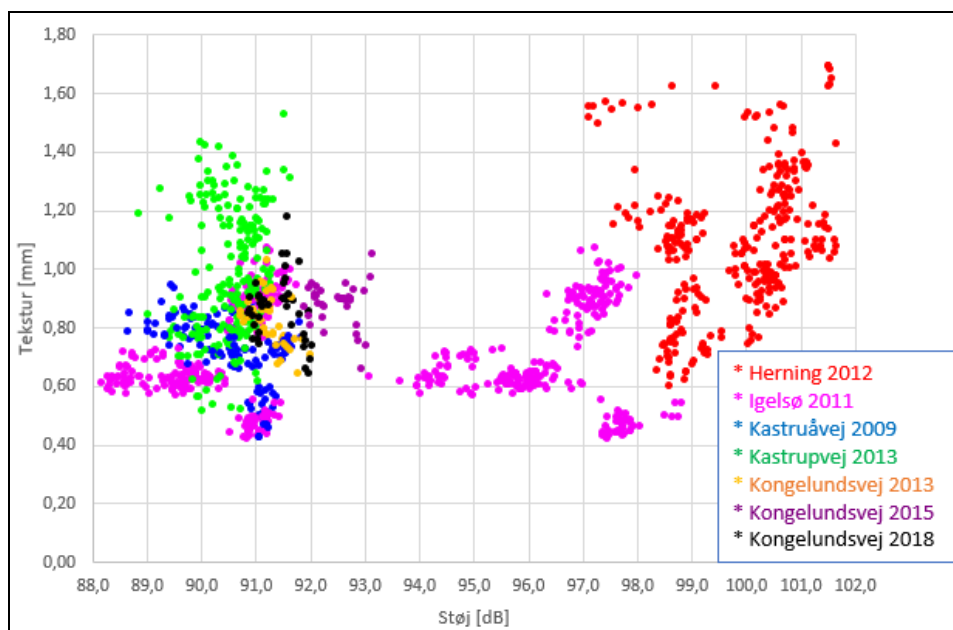


Fig. 7.1.2: Støj kontra tekstur for forskellige SRS-belægninger af forskellig alder.

Umiddelbart set, kunne man foranlediges til at konkludere af figur 7.1.2, at det laveste støjniveau følges med lavest mulig tekstur. Data indeholder imidlertid værdier fra adskillige år, hvor alderens indflydelse på data ikke er uvæsentlig.

Det er i projektet vedtaget, at der skal udvikles nye ekstra-støjdæmpende belægninger med ekstra lang levetid. Derfor tages i det videre udviklingsforløb udgangspunkt i forskellige skærmastiks-varianter (SMA). Efterfølgende figur 7.1.3 viser et mere reelt billede af sammenhængen imellem tekstur og støj, idet grafen er opdelt i tre delområder med forskellige aldre ved måletidspunktet.

Det ses af fig. 7.1.3, at SMA 8 belægningerne i år 1 både har større støjafgivelse og større teksturdybde, sammenholdt med de mere finkornede SRS-typer SMA 6+8 og SMA 6+11 (Betegnelsen "SMA 6+8" betyder, at der er tale om en SMA 6, tilsat en begrænset mængde 5/8 mm "overkorn" for at skabe flere luftpumpe-reducerende porer i overfladen. Tilsvarende for SMA 6+11, hvor der her er tilsat 8/11 korn til stenmaterialet). Det ses desuden af figuren, at såvel støjen som teksturdybden stiger med alderen for alle belægningstyper. Endelig ses som forventet, at SMA 11, som indtil for få år siden var det primære valg til motorvejsbelægninger, er den mest støjende af de viste belægningstyper.

Figur 7.1.4 viser på tilsvarende vis hvordan støj og tekstur udvikler sig over tid for en række andre belægningstyper, herunder den traditionelle reference-belægningstype AB 11t. Det ses også her, at både tekstur og støjafgivelse stiger med alderen.

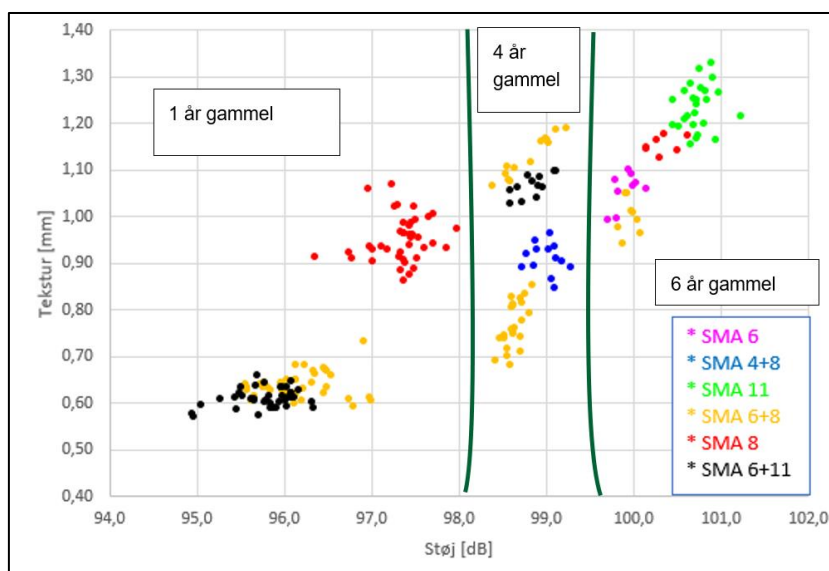


Fig. 7.1.3: Korrelation mellem middeltekstur (MPD) og støj for forskellige SMA-belægningstyper med forskellige aldre ved måletidspunktet.

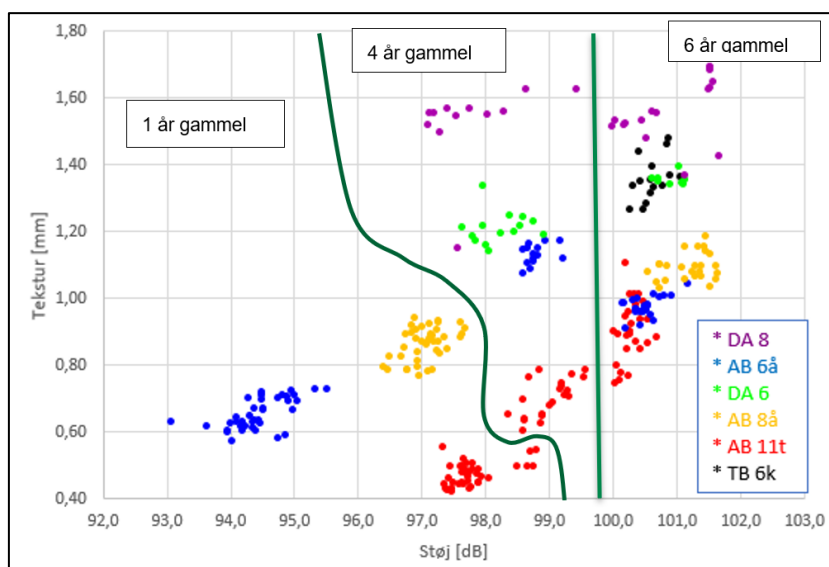


Fig. 7.1.4: Korrelation mellem middeltekstur (MPD) og støj for forskellige andre belægningstyper med forskellige aldre ved måletidspunktet.

Som det fremgår af ovenstående, varierer både tekstur og støj med belægningstype, stenstørrelse, alder og trafikhastighed. Efterfølgende figur 7.1.5 viser hvordan støj og middelteksturdybde (MPD) varierer for forskellige belægninger beliggende på hovedlandevej 136, med forskellige aldre, målt på samme tidspunkt med samme hastighed. Samtidigt skal det bemærkes, at VD's teksturmålinger jo er et udtryk for middel af hele kørebanebredden, hvor tekturen i køresporene med tiden givetvis reelt udvikler sig anderledes end imellem sporene. Hvis køresporene f.eks. efterkomprimeres af trafikken og bliver tættere, stiger trafikstøjen givetvis mere end hvad samtidige MPD-målinger indikerer.

Hvis man i fig. 7.1.5 betragter værdierne for SMA 11, i den venstre side af graferne, ses i denne opsætning en sammenhæng imellem tekstur og støjniveau, hvor begge stiger med alderen som følge af slitage og tiltagende ujævnheder. For den højre del, omfattende ABt og "ABST" (ABt med stålslagge) ses en væsentlig større afstand imellem niveauerne for tekstur og støj. Disse, hovedsagelig ældre belægninger, udviser et højere støjniveau, men med et relativt lavt MPD tekstur-niveau. Dette skyldes at ABt belægningerne har en tættere overflade med relativt

lav MPD men støj mere end tilsvarende SMA-belægninger, netop på grund af det højere luftpumpestryk som følge af manglende hulrumsporer i overfladen. Det er således ret komplekst at udlede entydige korrelationer imellem støj og tekstur.

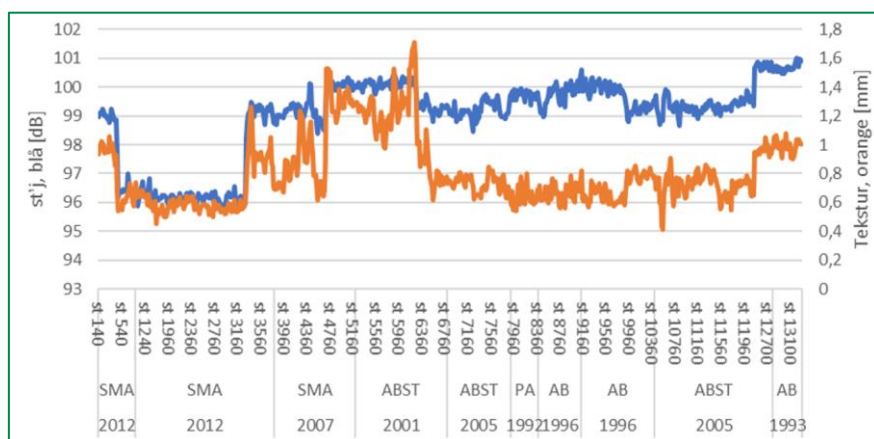


Fig. 7.1.5: Diagram, visende målte værdier for støj (blå) og tekstur (MPD, orange) for en ca. 13 km lang statsvejstrækning med forskellige belægninger med forskellige konstruktionsår.

7.2 Dataopsamling og konklusioner fra måleserierne

Ud fra datagennemgangen i afsnit 7.1 synes man at kunne konkludere for alle belægningstyper, at såvel støjafgivelsen som middelteksturdybden stiger med tiden, efterhånden som belægningerne tilslides og ældes. Samtidigt synes der også at være en tendens til at forskellen i støjniveau for forskellige belægninger mindskes med tiden. Dette svarer også til hvad der tidligere er rapporteret fra f.eks. SILVIA-forsøgsstrækningerne på Kongelundsvejen. Konklusionen på den omfattende datagennemgang bliver således, at der desværre ikke umiddelbart ses en entydig sammenhæng imellem støjniveauet og den målte middel-teksturdybde i belægningernes overflade, selv ikke for belægninger af omtrent samme alder. Dette viser, at vi i den videre søgning efter minimering af støjafgivelsen er nødt til at dykke længere ned i belægningernes teksturprofil og ikke blot se på middel-teksturdybden som helhed.

7.3 Valg af teksturparametre til parameterstudie

Udviklingsprocessen er i laboratoriet gennemført med et såkaldt parameterstudie, hvor en omfattende række forskellige receptvarianter med forskellige råvarer er testet op imod hinanden. For hver receptvariant er der fremstillet (mindst) to asfaltplader (fig. 7.3.1 og 7.3.2), hvor på der igen er målt overfladetekstur fire forskellige steder (Fig. 7.3.3). Herved sikres en høj præcision af teksturbestemmelsen. På baggrund af den efterfølgende dataanalyse er de absolut bedst egnede recept-kandidater udvalgt til programmets næste fase (som omfatter den egentlige holdbarheds- og robusthedsprøvning).

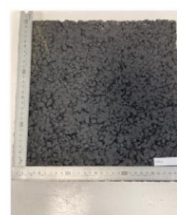
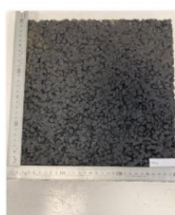


Fig. 7.3.1: Indtromling af asfaltplader i laboratoriet. Fig. 7.3.2: Eksempler på asfaltplader

Udvælgelsen er foretaget med udgangspunkt i de enkelte asfaltpladers middel teksturdybde (MPD), der som udgangspunkt indikerer, om der findes et godt støjreduktionspotentiale. Som det fremgår af forrige afsnit, er der dog også andre faktorer, som spiller ind. MPD-tallet kan således desværre ikke benyttes entydigt i jagten på den optimalt støjreducerende asfaltbelægning. Projektgruppen er derfor dykket længere ned i tolkningen af belægningens tekstur.



Fig. 7.3.3: Opstilling af teksturmåler



Fig. 7.3.4: Eksempel på asfaltplade og Marshall-indstampede prøvelegemer til test.

Der blev indledningsvis lavet en serie parallelt indtromlede plader i PEABs og Teknologisk Instituts laboratorier for at kalibrere tromleproceduren og sikre ensartede data fremadrettet.

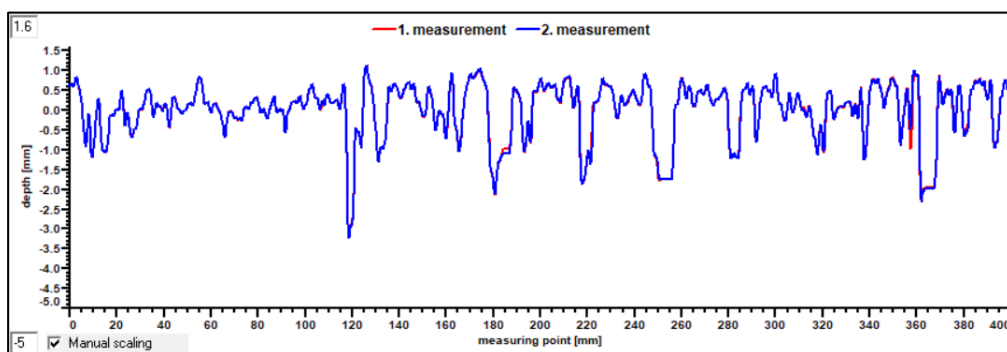


Fig. 7.3.5: Eksempel på teksturprofil målt på laboratorie [11]fremstillet asfaltplade. Det ses af grafen, at laseren måler teksturens variationer i en cirkelbevægelse med omkreds 400 mm

For at minimere dækvibrationer og deraf afledt rumlestøj er det i udvælgelsen af den ideelle XLN-belægning søgt at minimere den positive (opadgående) tekstur. Desuden er omfanget (tætheden) og dybden af de negative tekstur-peaks, som mindsker luftpumpe-støjen, vurderet. Endelig sammenholdes alle disse data med belægningernes hulrumsindhold, så der samtidigt sikres mod direkte vandgennemsvivning – uden at det går ud over støjreduktionen. Herved kan mulighederne for en bred anvendelse af XLN-belægningerne, uden specifikke underlagskrav, bedst sikres.

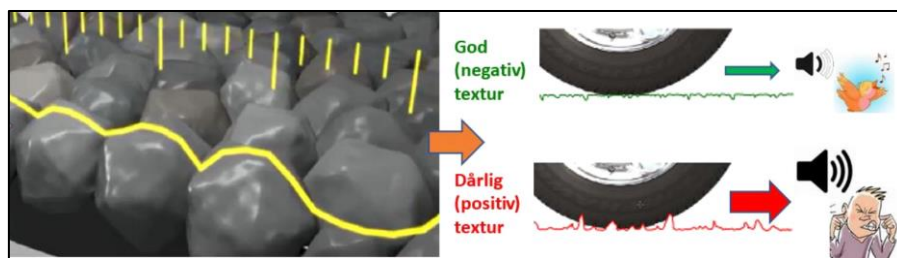


Fig. 7.3.1: Tekstur-retnings (op/ned) effekt på støjafgivelsen

De bedst egnede materialekandidater fra parameterstudiet udvælges efterfølgende til en særlig holdbarhedsoptimering, hvor der blandt andet anvendes polymermodificeret bitumen. Denne del af udviklingsforløbet bedømmer de bedst egnede materialekandidaters funktionsegenskaber med hensyn til blandt andet sporkøringsmodstand, revnemodstand og udmattelsesmodstand. Herved sikres, at den eller de endelige spidskandidat(er) til XLN-belægninger vil være meget robuste produkter, som ikke stiller andre krav til underlaget, end hvad der normalt gælder ved traditionelle slidlagsfornyelser.

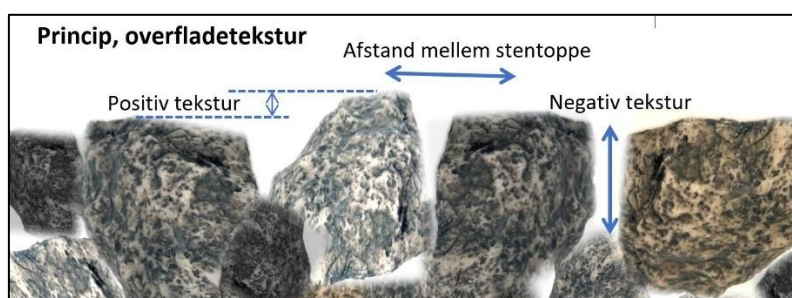


Fig. 7.3.1: Definition af positiv (opadrettet) og negativ (nedadrettet) tekstur. Det gælder for støjreducerende belægninger om at optimere den negative tekstur og minimere den positive.

Den anvendte udvælgelsesproces og mere specifikke teksturparametre er nærmere beskrevet i det efterfølgende afsnit, omhandlende det omfattende parameterstudies gennemførelse i laboratoriet for receptoptimering, før gennemførelse af de afsluttende fuldskala-forsøg på vej.

8. Parameterstudie – belægningsoptimering

8.1 Udvikling gennem parameterstudie

Ofte gennemføres udvikling af støjreducerende vejbelægninger ved at anvende en nærmest traditionel tilgang, som mere eller mindre er baseret på blindtest på fuldskala vejstrækninger af forventede potentielle kandidater. I modsætning til denne "trial-and-error" fremgangsmåde er der i XLN-projekt taget udgangspunkt i en mere logisk, systematisk og rationel metode ved at basere udviklingen på et parameterstudie i laboratoriet. I parameterstudiet tages udgangspunkt i kendte standardrecepter, men de forskellige indgående råvarers mængder og sammensætning varieres systematisk, så der opnås et bredt erfaringsgrundlag. Ud fra de i tidligere afsnit omtalte erfaringer fra samørende målinger af støj og tekstur er der taget udgangspunkt i at udvikle relativt finkornede asfalttyper, så dækvibrationer og rumlestøj minimeres. Samtidigt er det vigtigt, at belægningernes overflade opnår et tilstrækkeligt hulrum til at sikre imod høje luftpumpestryk (højfrekvent støj) fra bildækkene. For at sikre en lang levetid må der dog ikke forekomme alt for store hulrum, så underlaget fortsat beskyttes imod regnvand. Disse krav har afstedkommet, at der er taget udgangspunkt i primært at udvikle og optimere asfaltmaterialer af typen skærvemastiks (SMA), som er kendt for stor robusthed og holdbarhed. Erfaringerne fra de tidligere anvendte SRS-belægninger viser desuden, at meget tynde slidlag bør undgås for at sikre tilstrækkelig holdbarhed. De afprøvede nye receptvarianter er i forsøgsserien parallelt sammenlignet med reference-materialer af kendte standard-asfalttyper af tætgraderet asfalt (ABt) og SMA. Nedenstående figur 8.1.1 viser et udsnit af de mange afprøvede materialesammensætnings kornkurveforløb.

8.2 Valg af indgående råmaterialer (stenmaterialer, bindemiddel)

Forud for fastlæggelsen af asfalttyper/-recepter til forsøgsserien blev der gennemført et stort parameterstudie for at iagttage en lang række forskellige klippestenmaterialers egenskaber og variationer mellem leverancer. Tilsvarende blev der gennemført omfattende undersøgelser af forskellige modtagne leverancer af knust genbrugsasfalt, primært fra affræsede skærvemastiksslidlag, hvor stenkvaliteten svarer til hvad der ønskes for de nye støjreducerende XLN slidlagstyper.

Alle asfaltmaterialer i testprogrammet er fremstillet på basis af knuste klippesten, enkelte typer (AB reference) indeholder desuden 0/4 mm sand. Som filler (ud over "egenfiller" fra stenmaterialet) er i alle typer anvendt kalkfiller (asfaltfiller, ikke hydratkalk), samt 1,5% cement som klæbeaktiv filler. Desuden er der i parameterstudiets indledende fase generelt anvendt standard vejbitumen 40/60 jf. DS/EN 12591, da der er tale om relative sammenligninger imellem de enkelte typer. I de afsluttende fuldskala-forsøg optimeres sammensætningen yderligere med polymermodificeret bitumen for optimering af holdbarheden. Figur 8.2.1 viser kornkurverne for en række af de i parameterstudiet afprøvede materialesammensætninger.

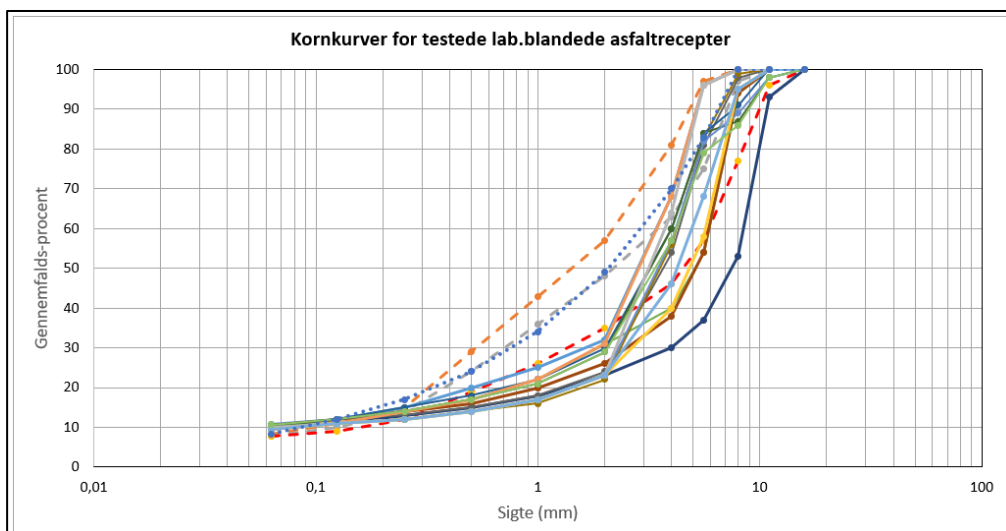


Fig. 8.2.1: I parameterstudiet indgik en mangfoldighed af forskellige materialesammensætninger, både tætgraderede og mere eller mindre åbengraderede SMA-varianter.

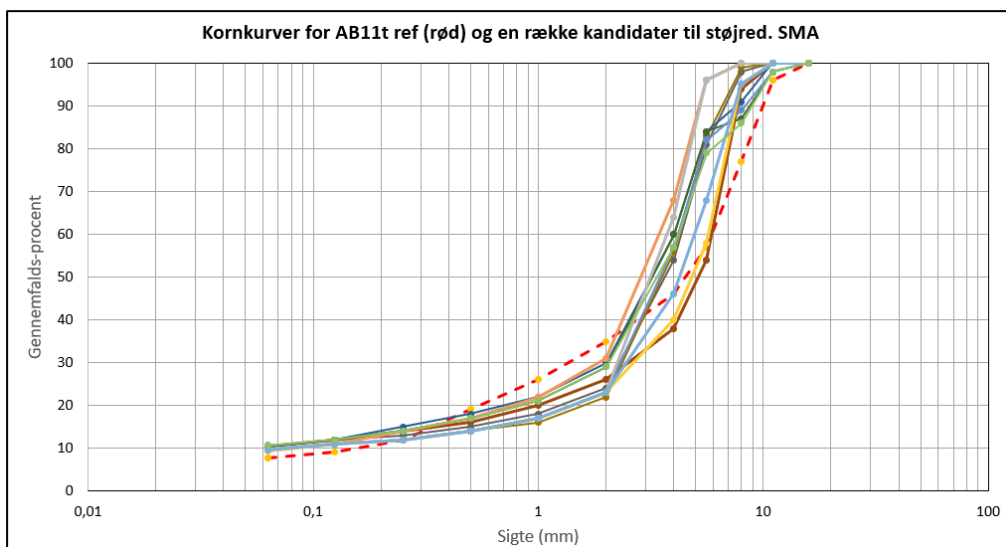


Fig. 8.2.2: Kornkurver for reference AB 11t (rød) og en række forskellige SMA-type kandidater. Bemærk SMA-varianternes karakteristiske, generelt mere "knækkede" kornkurver omkring 2 mm sigten, hvor den rødstiplede AB 11t reference har et mere jævnt, tætgraderet kornkurveforløb.

8.3 Genbrugsasfalt – muligheder og udfordringer

For at sikre at de nye XLN-belægninger kan fremstilles i overensstemmelse med de generelle ønsker om fokus på cirkulær ressourceøkonomi samt lav klimapåvirkning, indgår det som en naturlig del af forsøgsrækken at afdække mulighederne for tilsætning af genbrugsasfalt i de nye XLN-typer.

Da XLN-belægningerne er af SMA-typen, hvor der ikke tillades tilsat uknust stenmateriale (sand) i finfraktionen, er det vigtigt, at der kun anvendes genbrugsasfalt, som stammer fra gamle slidlagsbelægninger med tilsvarende stenkvaitet – eller evt. alternativt gamle ABB-belægninger, som typisk fremstilles af knuste klippestensmaterialer. Blandet, usorteret genbrugsasfalt er således ikke egnet til XLN-fremstilling.

En anden udfordring for genbrugstilsætning i SMA XLN-varianter fremgår af det omfattende statistiske grundlagsmateriale med omfangsrige analyser af mulige indgående råvarer, gen-

nemført i projektet af PEAB. For at undgå rumlestøj fremstilles XLN-varianterne typisk med en lille maksimal kornstørrelse på 6 – 8 mm. De typisk forekommende slidlags-genbrugs-asfaltmaterialer er dog normalt noget mere finkornede, da der under affræsningen sker en vis nedknusning af stenmaterialet. Statistikken viser, at 0/8 mm genbrugsasfalt fra gamle slidlag typisk har et gennemfald på 2 mm sigten på omkring 40-50% samt et højt fillerindhold på måske 15%, hvor nye SMA 8 -varianter typisk tilstræbes at have et gennemfald på 2 mm sigten på omkring 20-30%. De indledende receptberegninger viste, at der i SMA 8 varianter typisk ikke kan tilsættes mere end ca. 20-30% genbrugsasfalt, hvis hele den tilstræbte kornkurve skal kunne opnås. Endnu mere begrænsende gælder det for SMA 6 varianter, hvor det kan være svært overhovedet at finde et 0/6 mm genbrugsasfaltmateriale, som vil kunne tilfredsstille den ønskede kornkurve.

For at undgå variation fra for mange parametre på én gang, blev det valgt, at der i det indledende parameterstudie alene blev arbejdet med asfaltrecepter uden genbrugsasfalt, hvorefter genbrugstilsætning efterfølgende kunne afprøves og dokumenteres på de fra parameterstudiet afslutningsvis valgte, bedst egnede XLN-receptkandidater.

8.4 Receptafprøvning i laboratoriet – anvendt teknik

Som nævnt i afsnit 7.3 blev parameterstudiet i laboratoriet tilrettelagt, så der for hver recept-/materialekombination blev fremstillet asfaltplader, hvorpå overfladeteksturen kunne bestemmes med laserbaseret ELA tekstur-måleapparat. Der blev for hver kombination fremstillet mindst to asfaltplader, som blev komprimeret til ca. 97-100% af referencedensiteten fra Marshall-indstampede prøvelegemer. Hver plade blev efterfølgende opmålt ud fra en skabelon, så ELA-teksturmåleren blev opstillet i fire forskellige positioner på hver plade. Hver recept var således repræsenteret af i alt 8 teksturmålinger med en længde på 400 mm og dermed ret detaljeret dokumenteret.

I parameterstudiet blev der som referencebelægninger taget udgangspunkt i en række kendte og alment anvendte slidlagsasfalttyper, herunder AB 6t, AB 8t og AB 11t, samt SMA 8 og SMA 11. Der blev desuden udviklet og testet en lang række af nye receptkombinationer for mulige XLN-belægninger. Disse havde generelt sit udspring i skærvemastiks-konceptet (SMA), dels for at sikre størst mulig robusthed og et stærkt stenskelet, og dels fordi erfaringerne fra de tidligere anvendte anvendte, støjreducerende SRS-belægninger viste, at SMA-typer både levetidsmæssigt og støjsvaghedsmæssigt over tid var de mest velfungerende.

For at undgå unødige begrænsninger for XLN-konceptets udbredelse blev det endvidere fra starten af besluttet, at der skulle udvikles et (eller flere) koncepter, som ikke var afhængig af en bestemt klippestenforekomsts egenskaber. I parameterstudiet blev der taget udgangspunkt i at anvende en i Danmark "typisk" anvendt klippesten fra Durasplitt (Tau, Norge), som er en skærve med "normal"/"mellem-tung" densitet. Der blev i testprogrammet efterfølgende suppleret med gentagen afprøvning af de bedst egnede recepter, men denne gang med alternativ anvendelse af en tung og mørk Hyperit klippesten. Herved kunne det på forhånd sikres, at konceptet som sådan er "robust" overfor normalt tilgængelige stenmaterialer og ikke er fastlåst på et specifikt granitbruds specialsorterede/behandlede stenmateriale, da dette i givet fald kunne begrænse muligheden for den tilstræbte, brede anvendelse af konceptet – både økonomisk og teknisk..

I parameterstudiet blev der for alle afprøvede recepter ud over sammensætningskontrol supplerende udført Marshall-indstampning (2x50 slag) og bestemmelse af hulrum, hulrum i stenmaterialet og bitumenfyldningsgrad. Der blev desuden på de bedst egnede kandidater gennemført sporkøringstest, udmattelsestest, TSRST revnemodstandstest m.v. til sikring af langtidsholdbare, robuste koncepter

8.5 Laboratoriedata og valg af receptkandidater

Som indledningsvis nævnt i afsnit 7.3 er der for alle de afprøvede asfalttyper gennemført teksturmålinger med laser-teksturmåler på laboratorieindtromlede plader af asfaltmaterialerne. De opnåede data er efterfølgende anvendt til at udvælge de bedst egnede kandidater til XLN-slidlæg. Traditionelt vurderes en vejbelægnings overflade tekstur på baggrund af MPD-tallet, som er et udtryk for den i middel opnåede tekstur. MPD-tallet (Mean Profile Depth) kan evt omregnes til værdier for ETD (Estimated Texture Depth), som svarer til den tidligere anvendte, mere simple "sandplet-metode". I praksis er det dog ikke ligegyldigt om tekturen er opadrettet, "positiv" (giver vibrationsstøj) eller nedadrettet, "negativ" (giver lufttrykreducerende porer).

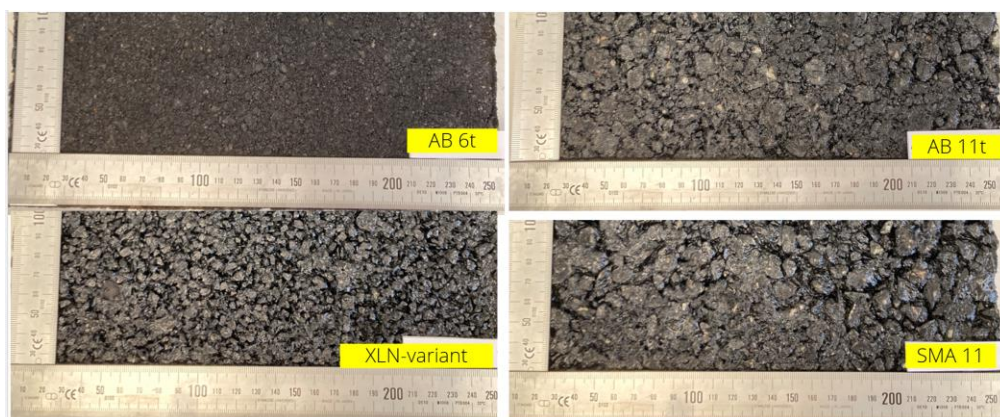


Fig. 8.5.1: Visualisering: Eksempler på overfladeteksturen for forskellige asfalttyper. Øverst til venstre en typisk finkornet cykelsti-/boligvejsbelægning, til højre en traditionel tæt asfaltbeton med sten op til 11 mm, nederst til venstre en finkornet XLN-variant og nederst til højre en SMA 11, som indtil for nylig har været standardtypen til motorveje m.v.

Ved gennemgangen af de opnåede data fra samtlige forsøgsbelægnings er der derfor foretaget en nærmere analyse af teksturprofilet. Fig. 8.5.2 viser eksempler på teksturprofiler for en traditionel SMA 11 sammenlignet med en finkornet XLN-variant (De nederste to i fig. 8.5.1). Den grønne linje symboliserer teksturprofilets "nulpunkt". Den grå linje viser den maksimale positive (opadrettede) tekstur og den røde linje viser den gennemsnitlige profildybde ud fra MPD-tallet, afsat i fht nulpunktslinjen (grøn).

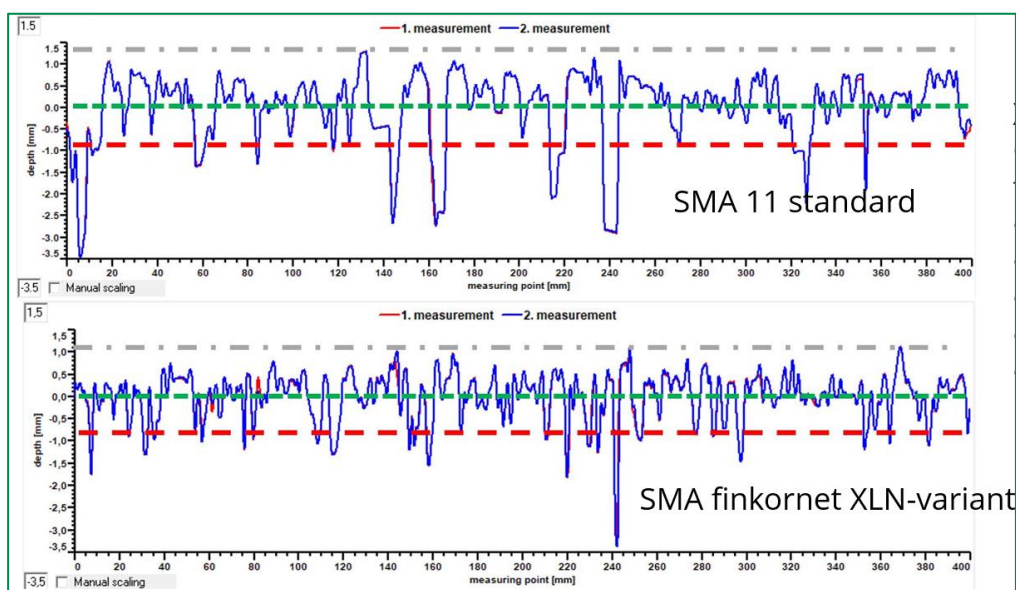


Fig. 8.5.2: Teksturprofiler for SMA 11 og en mere finkornet XLN-variant

Den grå linjes niveau er i det følgende omtalt som EMPT (Estimeret Maksimal Positiv Tekstur). Antallet af negative peaks i profilet, som er større (dybere) end MPD-tallet er omtalt som NTP-MPD (Negative Tekstur Peaks under MPD).

Når de to ovennævnte teksturprofiler sammenlignes, ses at SMA 11-varianten, grundet den store stenstørrelse, har "positive" tekstur-peaks (EMPT) op til 1,5 mm men til gengæld få og ofte dybe negative (nedadrettede) teksturpeaks ned til 3,5 mm og dybere end MPD. SMA XLN-varianten har et lavere positivt tekstur-peak (EMPT) på ca. 1,0 mm (mindre rumlestøj) og til gengæld betydeligt flere, men typisk mindre dybe negative peaks (NTP-MPD). Når man tænker på, at luftpumpestøjen er afhængig af, at der ikke er for langt imellem lufttryk-aflastende hulrum, er det en fordel at have mange små hulrum i overfladen, frem for få store – men hulrummene skal alligevel have en vis størrelse for at være effektive.

Samtidigt er det vigtigt at sikre, at belægningernes materialesammensætning både har et vist lufthulrum på Marshall-indstampede kerner (for at gøre teksturkravene realistiske), men samtidigt har et så lavt hulrum, at belægningerne fortsat har en tilstrækkelig tæthed, så slidlaget kan beskytte mod vandhedsivning til underlaget – og derved medvirke til lang holdbarhed af vej-konstruktionen.

Som vurderingskriterium ved receptudvælgelsen i parameterstudiet blev derfor indledningsvis valgt en kombination af følgende kriterier:

- Som udgangspunkt en høj værdi for MPD-tallet (min. 0,80 mm)
- Positiv teksturværdi (EMPT) så lav som muligt (max 1,20 mm)
- Negativ tekstur: Så mange nedadrettede peaks som muligt, der som minimum har samme størrelse som MPD-tallet (NTD-MPD, I praksis svarer dette til at optælle antallet af nedadrettede peaks i teksturprofilet, som er dybere end den røde linje). (min 15 pr. 400 mm profil)
- Marshall-hulrum: Der tilstræbes som udgangspunkt et niveau på ca. 3,5-6,5%, forventeligt resulterende i et indbygget hulrum på ca. 5-8% i den færdige belægning på vej.

Endelig blev der lagt vægt på at sikre, at XLN-belægningerne er så "formstabile" som muligt, så støjdempingseffekten bedst muligt bevares over tid. Dette er bl.a. søgt sikret ved at der i de efterfølgende fuldskalaforsøg konsekvent er anvendt egnet, polymermodificeret bitumen.

De mange afprøvede recepter omfattede både en række standard-slidlagsasfalttyper (som en form for reference) samt en lang række af specialrecepter, baseret på mere eller mindre åbne og finkornede varianter af SMA-belægninger, typisk med 6 eller 8 mm maksimalkornstørrelse.

Parameterstudiet endte på baggrund af ovennævnte udvælgelseskriterier op med at følgende tre XLN-kandidater blev udvalgt til fuldskala afprøvning på asfaltfabrik:

- SMA 8 XLN
- SMA 6+11 XLN
- SMA 6 XLN

I første omgang valgtes at gå videre med de to førstnævnte receptsammensætninger (SMA 8 XLN og SMA 6+11 XLN), som begge fremstod lidt tættere (mere vandbeskyttende) end den lidt mere åbne, men mest finkornede SMA 6 XLN.

For at sikre XLN-belægningernes robusthed og undgå de tidligere anvendte SRS-slidlags følsomhed overfor tykkelsesvariationer og underlagets tilstand, blev det for XLN-konceptet samtidigt vedtaget, at der altid skal anvendes en lagtykkelse på minimum 70 kg/m², sv.t. ca. 2½-3 cm.

9. Grundlag for fuldskala-afprøvning af asfalttyper

9.1 Prøveblandinger på asfaltfabrik af udvalgte recepter

Som forberedelse til de egentlige fuldskala-teststrækninger med XLN-belægninger blev der ultimo august 2022 foretaget prøveproduktion på Peab's asfaltfabrik i Køge af de to recepter: SMA 8 XLN og SMA 6+11 XLN.



Fig. 9.1.1: Indledende prøveblandinger blev udført på Peab Asfalts fabrik i Køge.

Der blev udtaget laboratorieprøver til omfattende test og opfølgning af begge asfaltmaterialer, som efterfølgende blev udlagt på små/midlertidige felter for indledende vurdering af tekstur.

Begge asfaltmaterialer udviste ved forsøgene tilfredsstillende egenskaber, hvorefter de to blanderecepter efter små finjusteringer var klar til fuldskala prøveudlægning på en vejstrækning i Københavns Kommune.

10. Første koncept-afprøvning på vej

10.1 Teststrækning på Tuborgvej i København, 2022

Den første fuldskala forsøgsstrækning med XLN-asfalt blev udlagt 30/8-2022 på en strækning af Tuborgvej i København, beliggende i de to nordgående spor på delstrækningen mellem Bispebjergvej og Bispebjerg Parkvej.



Fig. 10.1.1: Oversigtskort over placering af forsøgsstrækninger på Tuborgvej.

Der blev i det yderste nordgående spor (nærmest fortovet) på Tuborgvej udlagt en SMA 6+11 XLN og parallelt med i det lettere trafikerede nordgående spor (nærmest vejmidten) udlagt en SMA 8 XLN. Begge asfalttyper var produceret på Peab Asfalts fabrik i Køge og begge produceret med 40/100-75 SBS polymermodificeret bitumen. Af hensyn til at begrænse variationen af indgående parametre, valgtes til denne strækning at undlade tilsætning af genbrugsasfalt. Muligheden for tilsætning af genbrugsasfalt er efterfølgende fulgt op ved en senere forsøgsstrækning (se omtale i senere afsnit).

Asfalten blev udlagt af Københavns Kommunes asfaltudlægningshold og blev udført som aften-/natarbejde af hensyn til at kunne opretholde den normale trafikafvikling på den befærdede vej i dagtimerne. I vejens sydgående retning blev begge kørespor efterfølgende udlagt med standard SMA 8.(i forbindelse med alm. vejvedligehold uden for dette projekt og fra anden asfaltleverandør).



Fig. 10.1.2: Opstart af udlægning af SMA 6+11 XLN på en del af Tuborgvej, august 2022. De blanke spor på belægningen på billedet er blot vand, anvendt som slipmiddel på vejtrømlernes valser. Flot jævnhed og ønsket tekstur.



Fig. 10.1.3: Nærbillede af belægningernes overfladetekstur efter netop afsluttet tromling. SMA 8 XLN til venstre for samlingen ("sko-siden" på billedet) og SMA 6+11 XLN til højre. Det ses at begge udviser et finmasket net af små hulrum i overfladen – præcis som ønsket.

10.2 Materialedata

For de to XLN-belægninger blev følgende nøgledata opnået:

XLN-type	SMA 6+11 XLN	SMA 8 XLN
Stenmateriale, densitet	"normal"	"normal"
Genbrug	0	0
Bitumentype (polymer)	40/100-75	40/100-75
Sigteanalyse, gf. 8 mm	83	94
5,6 mm	75	68
2 mm	29	26
0,063 mm	10,5	10,3
Bindemiddel, vægt-%	6,0	6,2
Marshall hulrum, %	3,4	3,6
Stivhed, 20°C, MPa	3148	2509
Sporkøring 45°C, WTS, µ/c	0,01	0,01
Hulrum borekerner, tol. %	4,7	6,5
TSRST max.brudspænd, MPa	4,2	3,7
TSRST brudtemp. °C	-30,0	-26,2

Fig. 10.2.1: Oversigt, nøgledata fra laboratorieprøvning af XLN-asfalt fra Tuborgvej

Det ses af ovenstående tabel, at begge belægninger, bl.a. takket være anvendelsen af polymermodificeret bitumen, har opnået et Marshall-hulrum på knap 4%, fornuftige stivhedsmoduler (udtryk for bæreevne), samt en meget lav sporkøring, hvilket alt sammen indikerer, at der er tale om robuste koncepter. Endelig ses meget lave TSRST brudtemperaturer, som dokumenterer en høj grad af revnemodstand.

10.3 Støj og tekstur

Der blev ca. 1 måned efter asfaltudlægningen på begge XLN-strækninger udført støjmåling med Vejdirektoratets CPX støjmåletrailer "DeciBella". **Begge belægninger udviste en støjreduktion på ca. 3,0 dB ved 50 km/t**, set i forhold til Nord2000 referencen. Det anvendte måleprincip og den anvendte standardreference er således identisk med den for SRS-systemet tidligere anvendte fremgangsmåde.

Det anvendte måletidspunkt er relativt kort tid efter udlægningen og dermed var bitumenhinderne i toppen formodentligt endnu ikke slidt af, hvilket muligvis kan have en vis indflydelse på støjmålingens resultater. Måletidspunktet var dog nødvendigt for at kunne sikre valide målinger inden efterårets regnfulde vejr satte ind. Der blev derfor gennemført fornyede målinger i sommeren 2023.

Ved de **nye 2023-målinger** ved 50 km/t faldt støjreduktionsniveauet for SMA 6+11 XLN til 2,5 dB, hvorimod støjdæmpningsværdien på **ca. 3,0 dB blev fastholdt for SMA 8 XLN-varianten**.

Der blev foruden støj også målt overfladetekstur med Vejdirektoratets (VD) teksturmålebil. De opnåede tekstur-data er sammenholdt med værdier fra Teknologisk Instituts (TI) ELA-laserudstyr: Her udviste SMA 6+11 XLN belægningen en middelteksturdybde, MPD på 0,81 mm (VD) hhv. 0,66 mm (TI), mens SMA 8 XLN belægningen udviste 0,90 mm (VD) hhv. 0,76 mm (TI). Der ses således en vis, men næsten systematisk, niveauforskydning imellem de to måleprincipper anvendt på samme belægningsmateriale, men vigtigst ses samme rangorden af resultaterne.

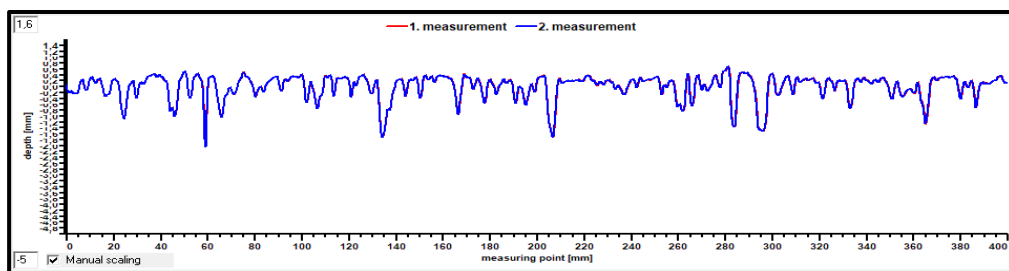


Fig. 10.3.1: Fin tekstur – næsten udelukkende "negativ", med gode, nedadrettede peaks (ELA laserbaseret teksturmåling).

10.4 Friktion (trafiksikkerhed)

I forbindelse med optimering af asfaltbelægningsers tekstur og holdbarhed er det samtidigt vigtigt at sikre, at belægningen udviser tilstrækkelig friktion (ruhed), så der ikke efterfølgende kan opstå trafikfarlige situationer på grund af manglende vejgreb. I denne forbindelse oplyser Vejdirektoratets AAB for varmblandet asfalt, afsn. 1.5.2, at friktionskvotienten f , der stilles krav til, angives som middel på en vilkårlig 100 m strækning. Kravet er for slidlag en værdi på $f \geq 0,45$ ved 50 km/t (og $f \geq 0,50$ ved 60 km/t).

Der blev på begge strækninger på Tuborgvej målt friktion med VDs friktionsmålebil ViaFriction (august 2023) og begge strækninger udviste en høj friktionskoefficient på ca. $f = 0,70$ målt ved 50 km/t.

10.5 Videre iterationer

Der blev efter Tuborgvej-forsøget arbejdet videre i laboratoriet på at optimere XLN-konceptet yderligere. Dette blev dels gennemført ved at afsøge en videre optimering af SMA 8 XLN konceptet og dels ved at kigge nærmere på nogle af de andre belægningstyper, som indgik i det omfattende parameterstudie i laboratoriet. Det blev her vedtaget at arbejde videre på et alternativt, mere finkornet koncept af SMA 6 typen, for derved at mindske rumlestøjen endnu mere. Samtidigt ville det dog blive nødvendigt at arbejde med et lidt højere hulrumsniveau end for de to typer fra Tuborgvej, for derved at opnå tilstrækkeligt poreomfang i overfladen til at sikre en lavere udvikling af den højfrekvente luft-pumpe-støj. Valget faldt således på en modificeret SMA 6 variant, som hulrumsmæssigt er trukket i retning af en mellemtung mellem en standard SMA og en åbengraderet ABå. Denne nye recepttype indgår således i 2023-fuldskala-programmet.

11. Genbrug på værk

Det var besluttet, at fuldskala-afprøvningerne i 2023 både skulle omfatte belægninger med genbrugsasfalt og belægninger med andre stentyper end den ved Tuborgvej anvendte. Alle recepter blev indledningsvis afprøvet på laboratorieniveau, før de blev anvendt ved fuldskala-udlægning.

For at kunne optimere anvendelsen af knust genbrugsasfalt fra gamle slidlag i den nye asfaltproduktion blev der i forbindelse med projektets forberedelser foretaget en optimering af Peab Asfalts fabrik i Uldum med henblik på at kunne håndtere genbrugsasfalten på den mest effektive og miljømæssigt mest skånsomme metode.



Fig. 11.1: Peab Asfalts fabrik i Uldum blev ombygget for optimering af genbrugsdosering.

Da det var planlagt at udføre XLN-teststrækninger i Vejle Kommune, blev Peab Asfalts nærvedliggende asfaltfabrik i Uldum optimeret til XLN-produktion med genbrugsasfalt. Dette indebærer bl.a. at der blev monteret en ny tørretromle med speciel genbrugsring til at kunne dosere genbrugsasfalten med skånsom opvarmning og derved minimere CO₂-belastningen fra denne del af produktionen. Samtidigt var fabrikkens råvarelager forsynet med en tørrehal, så den knuste genbrugsasfalt kunne opbevares under tag.



Fig. 11.2: Tørrehal for overdækket opbevaring af forskellige typer knust genbrugsasfalt

Hvis man ser på de enkelte asfaltfremstillings-delprocesser, så er energiforbruget til tørreprocessen, for at få restvandet ud af råvarerne, typisk noget større end energibehovet for yderligere opvarmning fra 100°C til fx 160-170°C. Der er således mulighed for at opnå en stor CO₂-reduktion ved at opbevare råvarerne – især genbrugsasfalten – så tørt som muligt forud for asfaltproduktionen. Den af Peab konstruerede tørrehall var desuden forsynet med åbne gavle, så passerende luft kan medvirke til tørring under lagringen, inden genbrugsasfalten tilsættes i asfaltproduktionen. De opnåede resultater fra teststrækningerne i Vejle Kommune fremgår af det efterfølgende afsnit.

12. Opfølgende fuldskala-afprøvninger på vej, 2023

Som et led i projektets udviklingsprogram var det valgt, at udviklingen skulle gennemføres i flere, successive trin gennem flere iterationer. Der blev derfor behov for gennemførelse af et større antal forsøgsstrækninger i 2023. På opfordring fra projektgruppen, gennem præsentationer ved Vejforum og projektets følgegruppe, meldte en række fremsynede kommuner sig interesserede i at få gennemført en teststrækning, som kunne indgå i projektets videre vidensopbygning. Blandt disse fremsynede kommuner valgtes Vejle Kommune og Lejre Kommune. Desuden stillede Københavns Kommune gerne en yderligere strækning til rådighed for projektets tests og erfaringsopsamling.

12.1 Uhre Forbindelsesvej, Vejle Kommune

Der blev i sommeren 2023 udført en SMA 6+11 XLN-belægning på en ny forbindelsesvej i Uhre, Vejle kommune. Belægningen blev både produceret og udlagt af Peab Asfalt A/S.

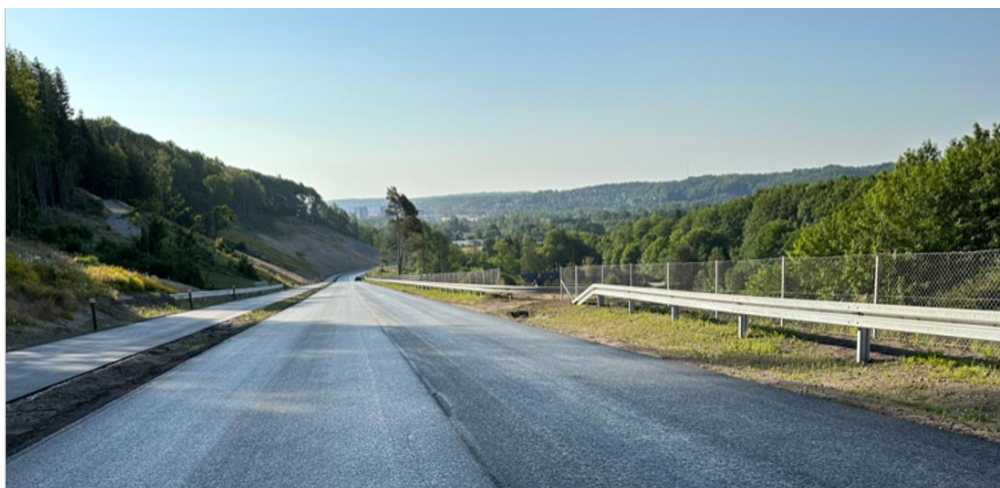


Fig. 12.1.1: SMA 6+11 XLN blev i 2023 udlagt af Peab Asfalt på en stærkt skrånende forbindelsesvej i Vejle.

Denne gang blev belægningen udført med en tung og mørk Hyperit-sten og en 25/55-55 polymermodificeret bitumen, men uden genbrugsasfalt, da det ikke umiddelbart var muligt at finde et egnet 0/6 mm slidlags-genbrugsasfaltermateriale til denne produktion. Belægningsarbejdet blev dog forstyrret pga. jordskred fra omkringliggende skrænter efter massiv regn, hvorfor opfølgende målinger blev udskudt.

Da det fra de fornyede målinger på Tuborgvej efterfølgende viste sig, at støjreduktionsevnen for SMA 6+11 XLN var faldet med 0,5 dB i løbet af det første leveår, blev det besluttet ikke at gennemføre videre målinger på forbindelsesvejens SMA 6+11 XLN belægning, men i stedet for at koncentrere sig om SMA 8 XLN og SMA 6 XLN. Dette skal dog ikke ses som et tegn på, at SMA 6+11 ikke vil kunne optimeres til at kunne fungere som en effektiv støjreducerende belægning, men inden for projektets begrænsede muligheder og økonomi blev denne belægningstype fravalgt i det afsluttende udviklingsforløb, hvor SMA 8 XLN og SMA 6 XLN umiddelbart tegnede sig som de mest oplagte kandidater.

12.2 Juelsmindevej, Vejle Kommune

Der blev i sommeren 2023 udført en ny forsøgsbelægning med belægningstypen SMA 8 XLN på Juelsmindevej i Vejle, fra Horsensvej i vest og godt 1 km østpå mod en rundkørsel. Både produktion og udlægning blev foretaget af Peab Asfalt A/S.

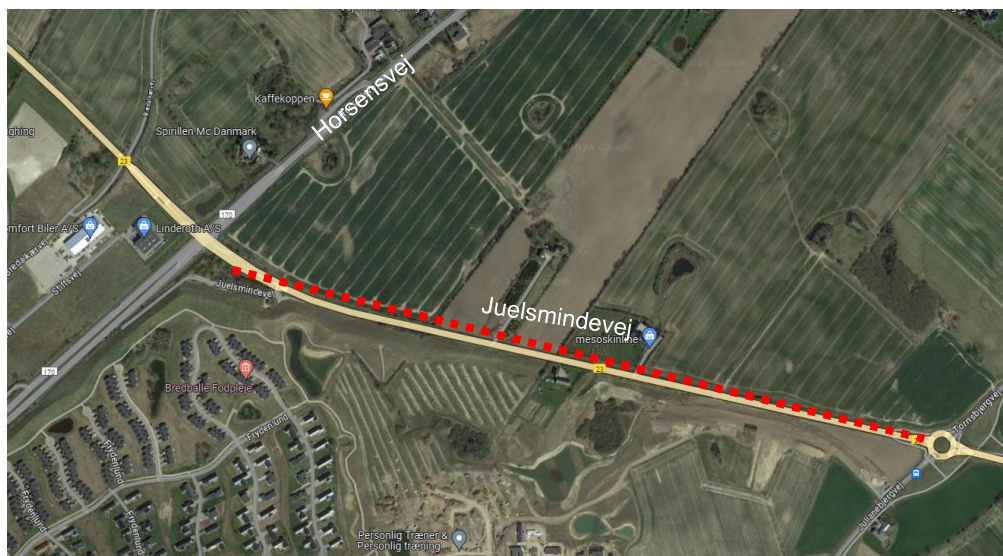


Fig. 12.2.1: SMA 8 XLN er udlagt i begge vejsider på Juelsmindevejs vestligste del, fra Horsensvej mod øst. Bemærk, at der umiddelbart syd for strækningen ligger et større, nyt boligkvarter, som kan få gavn af XLN-belægningens støjreducerende egenskaber.

Til strækningen blev der produceret en SMA 8 XLN på basis af tunge, mørke Hyperit-skærver, samt med tilsætning af 25% knust genbrugsasfalt 0/8 mm, affræset fra gamle slidlag. Ved fremstillingen blev anvendt en 25/55-55 polymermodificeret bitumen.



Fig. 12.2.2: Peab Asfalt udlægger SMA 8 XLN på Juelsmindevej i Vejle.



Fig. 12.2.3: Luffoto af Peab Asfalts udlægning af SMA 8 XLN på Juelsmindevej.
Nær vejen er et nyt boligkvarter under opførelse.

For belægningen på Juelsmindevej blev der opnået de i den efterfølgende tabel oplistede nøgleværdier fra laboratorieprøvningen:

Emne	SMA 8 XLN
Stenmateriale, densitet	"Tung"
Genbrug	25% 0/8 mm
Bitumentype (polymer)	25/55-55 PmB
Sigteanalyse, gf. 8 mm	92
5,6 mm	65
2 mm	21
0,063 mm	8,1
Bindemiddel, vægt-%	5,5*
Marshall hulrum, %	4,0
Sporkøring 50°C, WTS, μ/c	0,028
Stivhedsmodul, 10°C, MPa	11.620
Stivhedsmodul, 20°C, MPa	5.530
Hulrum borekerner, tol. %	7,3

*) Bindemiddelindholdet er korrigeret for det tunge stenmateriale (jf. AAB for varmblandet asfalt).

Fig. 12.2.4: Opnåede nøgle-laboratoriedata fra strækningen.



Fig. 12.2.5: Peab Asfalts udlægning af SMA 8 XLN

Der blev også på denne strækning foretaget støjmåling med Vejdirektoratets CPX-måletrailer – og der blev som ved Tuborgvej fundet en gennemsnitlig støjreduktion ved 50 km/t på ca. 3 dB, set i forhold til Nord2000 standard-referencen. Der blev af VD desuden fundet en god middelteksturdybde, MPD på 0,77 mm, samt tilfredsstillende friktion i fht. VD's gældende krav.



Fig. 12.2.6: Støjreducerende belægning med genbrugsasfalt i grønne omgivelser

12.3 Lejrevej, Lejre Kommune

Der blev i september 2023 udført endnu en strækning med SMA 8 XLN – denne gang på Lejrevej i Lejre Kommune. Også her blev både produktion og udlægning foretaget af Peab Asfalt A/S. Denne strækning blev som Tuborgvej fremstillet med Durasplitt skærver med "normal" densitet, men denne gang med 25% genbrugsasfalt 0/8 mm.



Fig. 12.3.1: Lejrevej i Lejre Kommune, opstart fra svinget ved Hvalsøvej i syd og retning mod nord (t.h. på foto) i begge vejsider (Placeringsangivelsen på kortet er omtrentlig)..

Der blev for denne strækning fundet laboratoriemæssige nøgleværdier som anført i den efterfølgende tabel, figur 12.3.2.

CPX-målinger på denne strækning lå på omtrent samme niveau på ca. 3 dB ved 50 km/t som for de øvrige strækninger med SMA 8 XLN. Dette tyder således på, at konceptet er robust, både med hensyn til skift af skærvetype og med hensyn til tilsætning af 25% genbrugsasfalt fra gamle, affræsedede slidlag.

Emne	SMA 8 XLN
Stenmateriale, densitet	"Normal"
Genbrug	25
Bitumentype (polymer)	40/100-75
Sigteanalyse, gf. 8 mm	96
5,6 mm	66
2 mm	23
0,063 mm	8,2
Bindemiddel, vægt-%	6,4
Marshall hulrum, %	3,9
Sporkøring 50°C, WTS, µ/c	0,040
Stivhedsmodul, 10°C, MPa	7.810
Stivhedsmodul, 20°C, MPa	2.930

Fig. 12.3.2: Oversigt over nøgle-laboratoriedata fra Lejrevej.



Fig. 12.3.3: Peab Asfalt udlægger SMA 8 XLN på Lejrevej, Lejre Kommune.



Fig. 12.3.4: Husene ligger tæt op ad Lejrevej, som nu har fået nyt XLN-slidlæg.

12.4 Kalkbrænderihavnsgade, Københavns Kommune

Som tidligere nævnt blev det i den sidste, iterative udviklingsprocedure i laboratoriet valgt at introducere endnu en belægningstype i form af en finkornet SMA 6 XLN, med udgangspunkt i SMA 6 konceptet, men åbnet mere op, så overfladeteksturen blev tydeligere og mere effektiv støjreduktionsmæssigt. Trods den lille kornstørrelse blev der, for at sikre optimal robusthed, valgt en tilstræbt lagtykkelse på 70 kg/m², idet belægningstypen er meget sporkøringsresistent.

Der blev derfor 7. september 2023 udlagt en forsøgsstrækning på en ca. 350 m lang del af Kalkbrænderihavnsgade, som jo er ret trafikeret. Arbejdet blev udført som en del af en generel belægningsrenovering af vejen, hvor resten af vejen i anden entreprise fik udlagt en traditionel SMA 8, efter at hele strækningen først havde fået et forstærkningslag af ca. 4 cm ABB 11. Teststrækningen med SMA 6 XLN blev udlagt i vejens nordgående side, med opstart ved krydset ved Sundkrogsgade og blev placeret i det tunge spor, samt halvdelen af det yderste, lette spor i nordgående retning. De opfølgende målinger på vejen er derfor kun udført på det tunge spor, nærmest fortovet.

Der blev til strækningen produceret en SMA 6 XLN baseret på klippesten med "standard" densitet og polymermodificeret bitumen 40/100-75. Der blev ikke tilsat genbrugsasfalt til denne produktion, da det ikke umiddelbart var muligt at finde en 0/6 mm slidlags-genbrugsasfalt, som kornkurvemæssigt kunne passe sammen med produktets designede kornkurve, med typisk "SMA-knæk" på kurven.

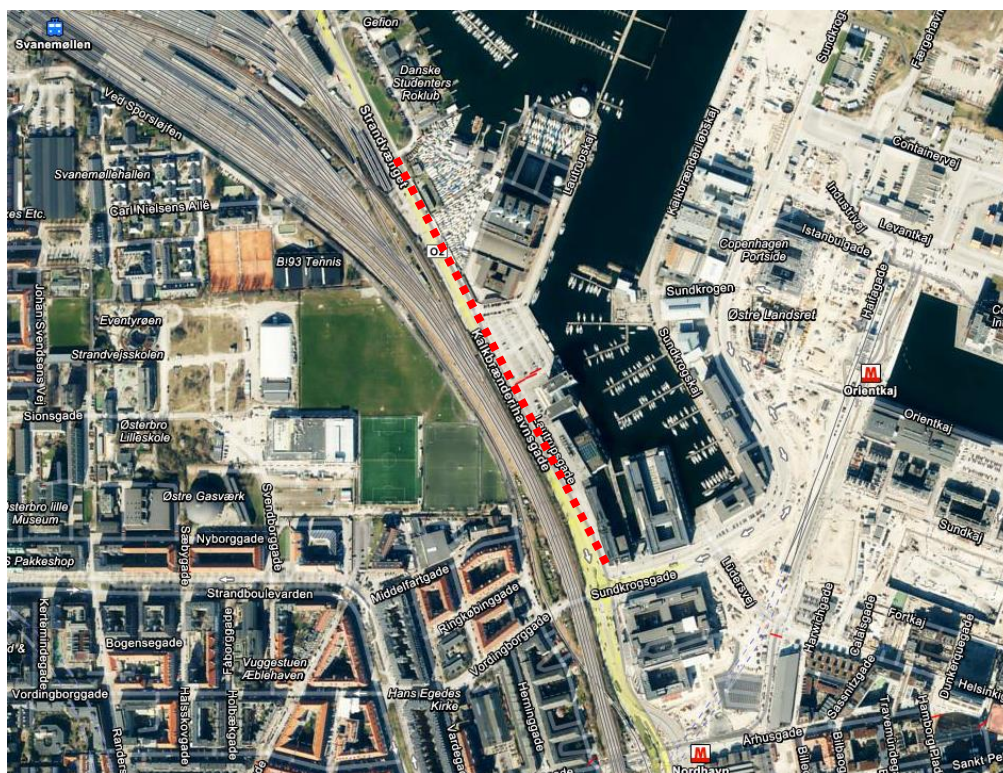


Fig. 12.4.1: Den nye XLN-variant af SMA 6 type blev udlagt på en delstrækning af Kalkbrænderihavnsgade i nordgående retning med opstart umiddelbart nord for Sundkrogsgade, frem forbi Svanemølleværket. I sydgående retning er (uden for projektet) placeret en traditionel SMA 8.

Emne	SMA 6 XLN
Stenmateriale, densitet	"Normal"
Genbrug	0
Bitumentype (polymer)	40/100-75
Sigteanalyse, gf. 8 mm	100
5,6 mm	96
2 mm	32
0,063 mm	8,4
Bindemiddel, vægt-%	6,2
Marshall hulrum, %	8,0
Sporkøring 50°C, WTS, μ/c	0,066
Stivhedsmodul, 10°C, MPa	6010
Stivhedsmodul, 20°C, MPa	2420
Hulrum borekerner, tol. %	9,8

Fig. 12.4.2: Oversigt, laboratoriedata, Teststrækningen på Kalkbrænderihavnsgade.

Det ses af tabellen (fig. 12.4.2), at SMA 6 XLN har et ret højt hulrumsindhold på 8% (Marshall) hhv. 9,8% indbygget (toleranceværdi). Dette betyder, at SMA 6 XLN hulrumsmæssigt reelt ligger relativt tæt op ad en ABå-belægning, men har dog et væsentligt højere bindemiddelindhold, til gavn for levetid og robusthed.

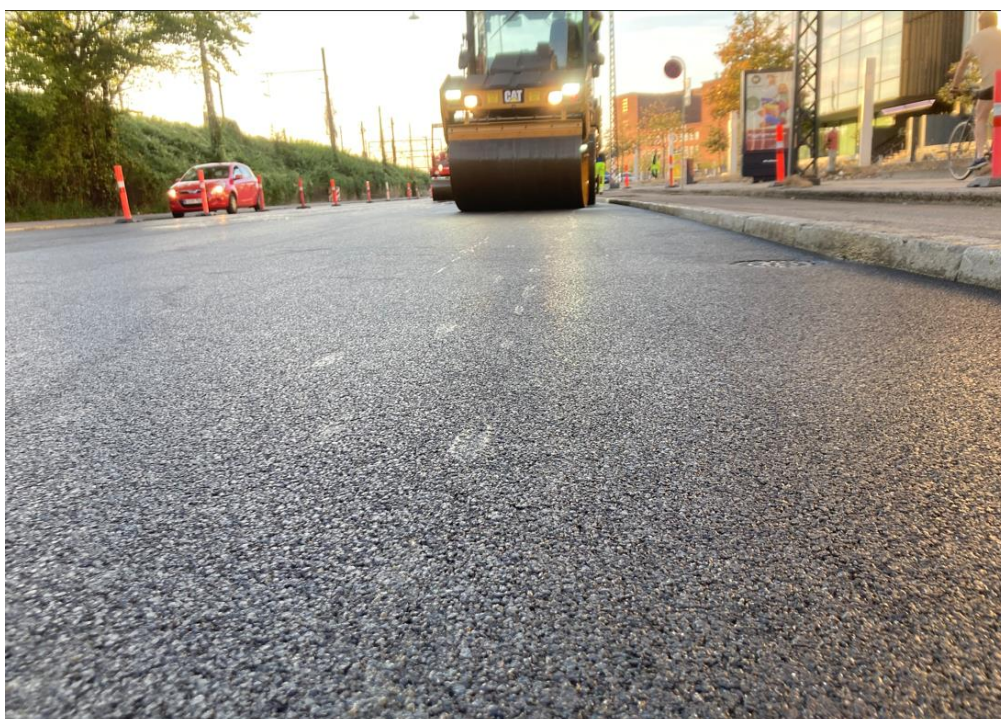


Fig. 12.4.3: SMA 6 XLN belægningen blev udlagt og komprimeret med glatvalsede tromler af Københavns Kommune.

Der blev målt friktion og overfladetekstur med VD's målebiler. Trods den lille stenstørrelse blev der målt en meget høj friktion på gennemsnitligt ca. $f = 0,80$ ved 50 km/t. Der blev desuden målt en middelteksturdybde (VD) på 0,65 mm. Der blev samtidigt gennemført teksturmålinger af TI med ELA håndbåret udstyr. Der blev med ELA fundet MPD teksturværdier varierende fra 0,44 til 0,55 med et gennemsnit (43 enkeltmålinger) på ca. 0,53 mm.



Fig. 12.4.4: Close-up af SMA 6 XLN-belægningens finkornede tekstur. Der ses en tydelig og ensartet porestruktur i overfladen.

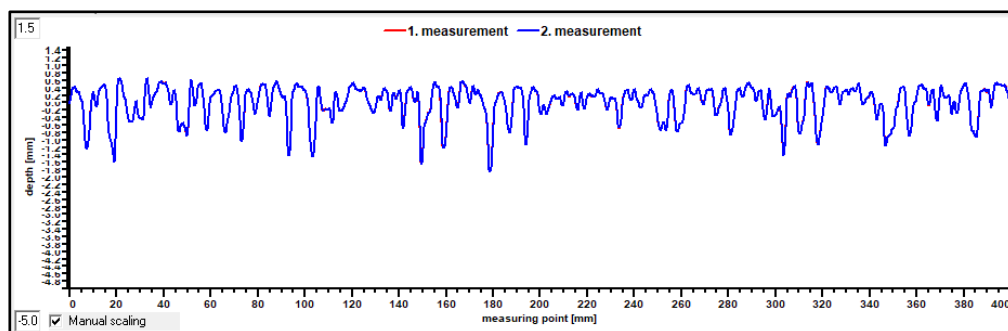


Fig. 12.4.5: Teksturprofil målt med ELA laserbaseret teksturmåler på belægningen. Der ses et næsten helt ideelt teksturprofil med kun "negative", nedadrettede peaks, så rumlestøjen minimeres, samtidigt med at de nedadrettede hulrumspeaks dæmper luftpumpestøjen.

Der blev af VD gennemført støjmåling på SMA 6 XLN-belægningen med DeciBella-måletrailer. Data er som tidligere omregnet til SPB-CPX og sammenlignet med standard-referenceværdien fra Nord2000. Der blev **for SMA 6 XLN bestemt en støjreduktion på hele 4,7 dB**, altså tæt på projektets mål om at opnå 5 dB støjreduktion. (Målingen blev foretaget 26. september 2023, efter ca. 3 ugers trafik på belægningen).

Hvis man betragter frekvensspektret af den målte støj, ses et relativt fladt forløb mellem 500 og 2.000 Hz, med kraftige fald før/efter dette interval. Dette indikerer, at såvel dybe som høj-frekvente lydes bidrag til vejstøjen er lave (Traditionelle asfalttyper udviser typisk et mere markant peak omkring 1.000 Hz).

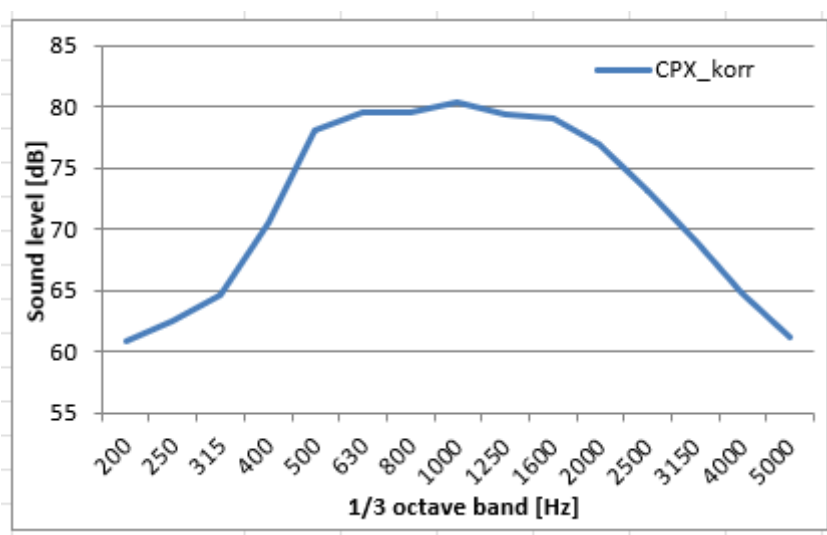


Fig. 12.4.5: Frekvens-fordeling af CPX-støj på SMA 6 XLN (VD DeciBella CPX-måling)

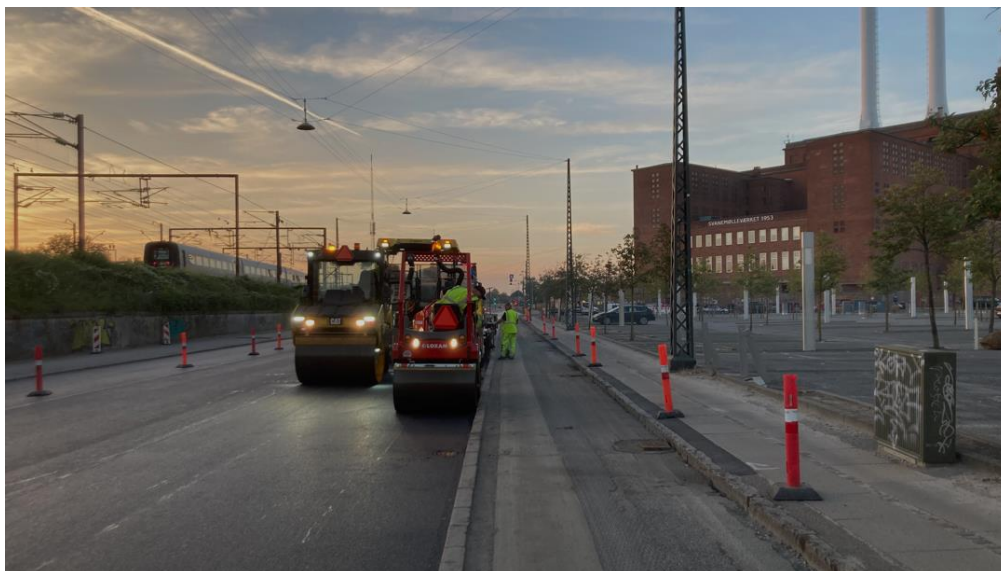


Fig. 12.4.6: Udlægningsarbejdet blev gennemført som aften/natarbejde for ikke at forstyrre trafikken på Kalkbrænderihavnsvej i dagtimerne, trods udlægningstidspunktet primo september nåede solen at forsvinde inden udlægningsarbejdet var helt afsluttet.

13. Opsummering: Funktions-egenskaber og robusthed

Et af projektets mål var, at de udviklede belægninger ikke blot skulle opnå gode støjreducerende egenskaber, men samtidigt også skulle udgøre et robust og sikkert koncept med lang forventet levetid og uden omfattende krav til underlagets tilstand og type, så længe det er sundt og bæreevnen er tilstrækkelig. I de efterfølgende underafsnit er XLN-belægningernes vigtigste funktionsegenskaber derfor belyst nærmere.

13.1 Støjreduktion

Resultatet af de gennemførte teststrækninger indikerer følgende støjreduktionsværdier, målt ved 50 km/t med CPX støjmåletrailer og efterfølgende omregnet til SPB-værdier, hvor støjreduktionen er set i forhold til den officielle Nord2000 reference:

- SMA 8 XLN: Ca. 3,0 dB
- SMA 6 XLN: Ca. 4,7 dB

Det kan supplerende oplyses, at de gennemførte fuldskalatests for den tredje fuldskalaafprøvede belægningstype, SMA 6+11 XLN, viste et initialt niveau på 3,0 dB, som dog faldt til 2,5 dB efter 1 år. Til gengæld har den valgte SMA 8 XLN udvist uændret støjreduktion på ca. 3 dB efter et års trafikbelastning (Tuborgvej).



Fig. 13.1.1: DeciBella CPX-trailer med mikrofoner nær dækkene (foto: VD).

13.2 Rullemodstand

Det har desværre ikke været muligt indenfor projektets rammer at få foretaget en bedømmelse af de nye XLN-belægningers rullemodstand, men det forventes umiddelbart, at de finkornede SMA-varianter muligvis vil have lidt lavere rullemodstand end for traditionelle slidlag – og dermed reduceret CO₂-udledning i brugstilstand.

13.3 Trafiksikkerhed – friktion

De gennemførte fuldskala-teststrækninger med XLN-varianter har alle indikeret fine friktionsværdier – selv for den finkornede SMA 6 XLN, hvor målingen endda er gennemført nogle få uger efter udlægning. Der ses således heller ingen initial-friktionsproblemer for XLN-varianterne.

13.4 Bæreevne – stivhedsmodul

Stivhedsmodulbestemmelser (jf. DS/EN 12697-26, IT-CY) for materialeprøver udtaget fra fuldskala-strækningernes asfaltproduktion og Marshall-indstampet med 2x50 slag dokumenterer, at belægningerne har stivhedsmoduler ved 20°C i størrelsesorden mellem ca. 2.400 MPa og hele 5.500 MPa, afhængig af det anvendte polymermodificerede bindemiddel. Der ses således fine værdier, som indikerer et godt bæreevne-bidrag, selvom der er tale om belægninger med relativt lille maksimalkornstørrelse.



Fig. 13.4.1: Bestemmelse af asfaltmaterialers stivhedsmodul. Der påføres små slagvise belastningspulser via belastningsbjælken (spaltetræk-opstilling), hvor de tilhørende udbøjninger i vandret plan, vinkelret på belastningen, måles hvorefter stivheden kan beregnes.

13.5 Sporkøringsmodstand

Der er på de forskellige belægningstyper gennemført sporkøringstest (jf. DS/EN 12697-22, small size, air) ved 45-50°C. Der ses meget fine data med WTS-værdier fra 0,01 til 0,066 microns/cyklus. Selv for SMA 6, som udviser den højeste sporkøring blandt de testede materialer, er der tale om en lav testværdi. XLN-materialerne er således meget stabile.



Fig. 13.5.1: Sporkøringstest.

Sporkøringstesten foretages på laboratorie-indtromlede asfaltplader. Hjulet belaster med et fladetryk svarende til et lastbilshjul og foretager 10.000 dobbeltpassager hen over pladen. Testen foregår i klimakammer ved 45 – 60°C. I denne forsøgsserie er primært anvendt en testtemperatur på 50°C.

13.6 Holdbarhed: Udmattelsesmodstand

Når man introducerer nye belægningstyper, er det foruden nye, tilførte egenskaber som i dette tilfælde støjreduktion, også meget vigtigt at sikre, at man fremstiller belægninger med god og lang holdbarhed. Holdbarhedstest på asfalt foretages med en metode, som billedligt talt svarer til "IKEA-testen" hvor f.eks. en skuffe eller et skab åbnes og lukkes millioner af gange uden at gå i stykker.

Der er derfor i projektet gennemført asfalt-udmattelsestest efter DS/EN 12697-24, IT-CY, ved standard testtemperatur 10°C, på de to udvalgte belægningstyper SMA 6 XLN og SMA 8 XLN. Testen foretages på Marshall-indstampede prøvelegemer med en testopstilling omtrent som den anvendte for bestemmelse af stivhedsmodul. Der påføres forskellige niveauer af ganske små lodrette belastninger via belastningsbjælken, samtidigt med at udbøjningen i vandret plan (responsen) registreres. Testen af de enkelte legemer afbrydes, når kernen bryder (revner) eller når stivheden er faldet til det halve af udgangspunktet. Samhørende værdier for initial tøjning (deformation) og antal belastninger indtil brud plottes i et log-log diagram. Herefter kan tendenslinjer indlægges og ekstrapoleres frem til aflæsning af værdien ved 1 mio. belastninger, som er den i CEN-systemet definerende parameter for udmattelsesmodstand. Jo højere værdi, desto længere levetid.



Fig. 13.6.1: Testopstilling for udmattelsestest jf. DS/EN 12697-24, IT-CY

Efterfølgende figur 13.6.2 viser den grafiske afbildning af udmattelsestest gennemført på SMA 6 XLN (blå, stiplet) og SMA 8 XLN (grøn, fuldt optrukket). Til sammenligning er indsat arkivværdier for en SMA 11 med polymermodificeret bitumen (punkteret stiplet) og en traditionel AB 8t med standard bitumen 70/100 (dobbelt-punkteret linje). Det ses ved aflæsning på figuren, at SMA 8 XLN kan tåle 6 gange så mange belastninger af en given størrelse som en AB 8t. Begge XLN-varianter klarer sig også tydeligt bedre end den viste SMA 11 PmB, som stammer fra et tidligere udført motorvejsprojekt

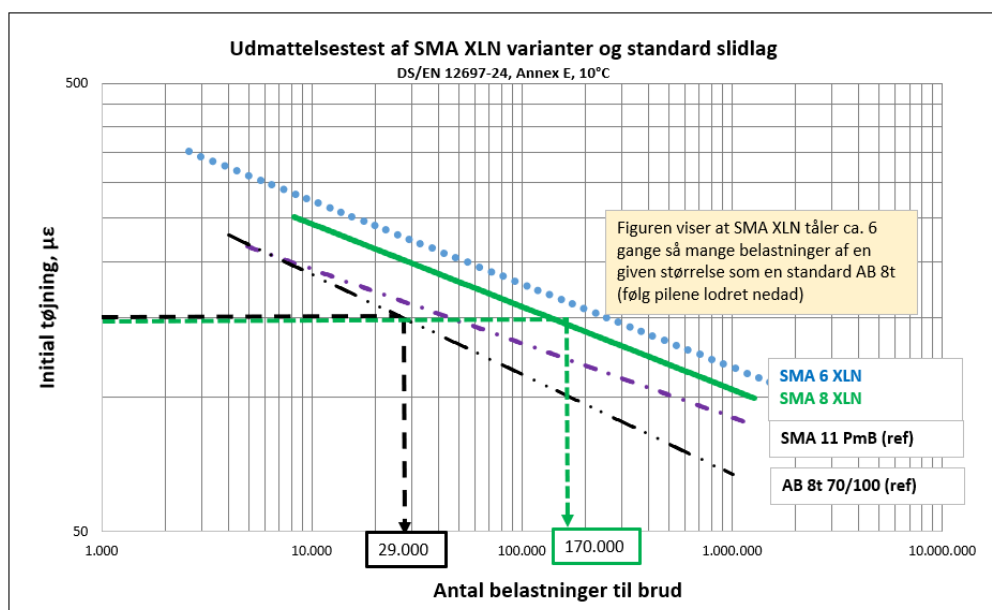


Fig. 13.6.2: Resultat af udmattelsestest for de to XLN-varianter (blå og grøn).

Det må på baggrund af forsøgsserien konkluderes, at begge XLN-belægninger – SMA 6 XLN og SMA 8 XLN – trafikbelastningsmæssigt har en lang forventet levetid – når der vel at mærke anvendes polymermodificeret bitumen ved asfaltfremstillingen.

13.7 Robust lagtykkelse er vigtig

Da der er lagt stor vægt på, at XLN-belægninger både er robuste og har en lang forventet levetid, er det i projektet fastlagt, at minimumslagtykkelsen er 70 kg/m². Dette gælder både for SMA 8 XLN og for SMA 6 XLN. Dette er vigtigt for at undgå nogle af de udfordringer, som opstod i forbindelse med tidligere anvendelse af SRS støjreducerende slidlag, som på grund af en meget lille lagtykkelse i nogle tilfælde fik holdbarhedsmæssige udfordringer.

13.8 Revnemodstandsevne

Der blev på de to belægningsvarianter udlagt på Tuborgvej supplerende gennemført TSRST-test (jf. DS/EN 12697-46) til at bestemme materialernes revnemodstandsevne i koldt vejr.

Testen gennemføres ved at testbjælker udsaves af indtromlede asfaltplader af de to materialer udlagt på Tuborgvej. De udsavede bjælkers endeflader fastgøres med epoxylim til testudstyrets metalplader. Herefter monteres bjælke med endeflader i en testopstilling i TSRST-testudstyrets klimakammer på en sådan vis, at begge bjælkens endeflader er fikseret i længderetningen. Herefter gennemføres testen ved at temperaturen sænkes med en konstant rate på 10°C pr. time. Jo koldere asfaltbjælken bliver, desto mere vil den forsøge at trække sig sammen, så der opstår større og større indre trækspændinger indtil bjælken til sidst revner. Herefter aflæses den maksimale trækspænding og brudtemperaturen. Som en tommelfingerregel er revnemodstanden god og uproblematisk, hvis værdierne ligger under -20°C, hvorimod værdier højere end -10°C indikerer, at revnemodstanden er mindre god.

Begge de testede belægninger (SMA 8 XLN og SMA 6+11 XLN) udviste en meget flot, lav brudtemperaturværdi på hhv. -26°C og -30°C med samtidige maksimale trækspændinger omkring 4 MPa. Dette er meget fine værdier, som indikerer at materialerne god resistens mod revnedannelser i koldt vintervejr.

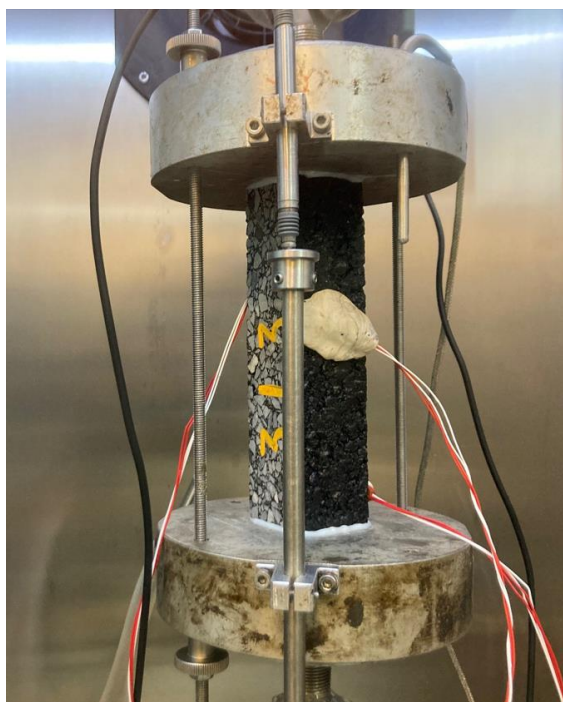


Fig. 13.8.1: TSRST testopstilling i klimakammer. Bjælken er under testen fikseret i længderetningen. Brudtemperaturen overvåges og registreres af de påmonterede termofølere.

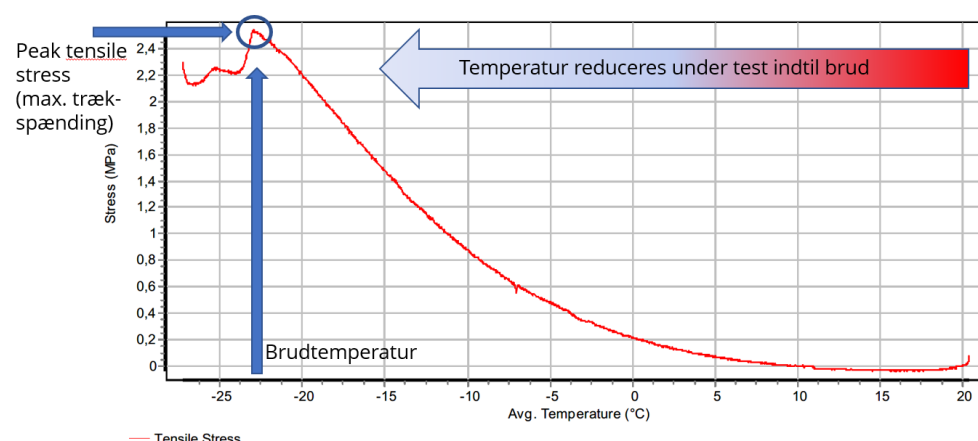


Fig. 13.8.2: Eksempel på TSRST-forløb. Den indre trækspænding stiger, når temperaturen falder (fra højre mod venstre), indtil bjælken "giver op" og revner.

13.9 Beskyttelse af underlaget mod vandnedsivning

Da det er tanken, at XLN-belægninger også skal kunne udlægges på ældre, men intakte belægninger, er det vigtigt, at XLN-varianterne udviser den fornødne tæthed til at kunne beskytte ældre, underliggende belægninger imod vandnedsivning og mulige efterfølgende frostska-der. De udvalgte XLN-kandidater er derfor testet for vandtryksmodstand med en testopstilling som vist i fig. 13.7.1. Komprimerede prøvelegemer af hver asfalttype monteres med en på siderne omsluttende gummimembran, hvorefter der via et rørsystem påføres et vandtryk svarende til 1 m vandsøjle. Vandsøjlen belaster i 24 timer, hvorefter evt. fald i søjlens vandspejlshøjde registreres. Det anvendte vandsøjletryk vil således altid være væsentligt større, end hvad asfaltbe-lægninger i praksis vil kunne udsættes for på vejen, men fremmer på relativt kort tid den relati-ve vurdering.

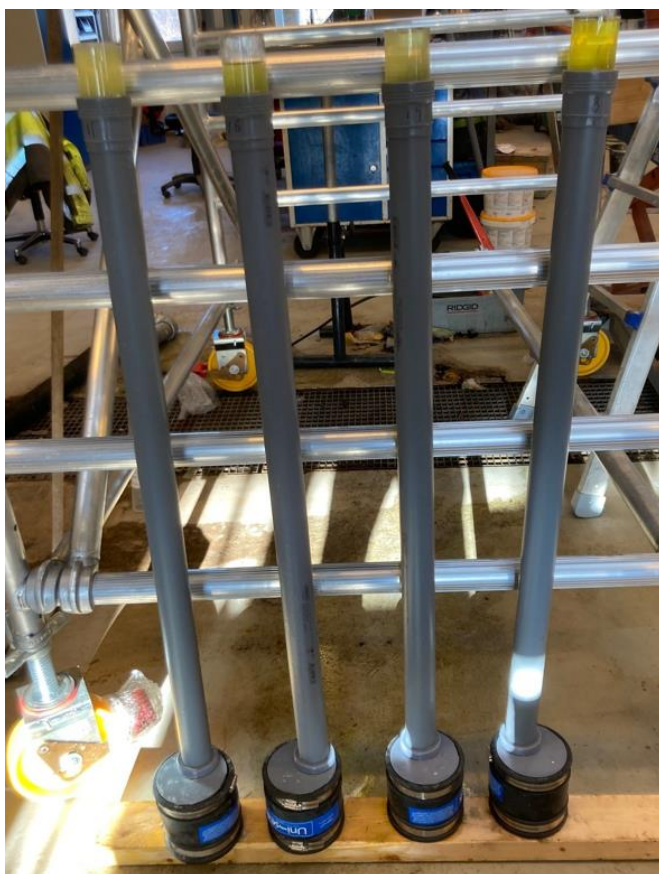


Fig. 13.9.1: Testopstilling i TI's laboratorium for evaluering af belægningernes vandtæthed.

Resultatet af de gennemførte vandtrykstests viser, at SMA 8 XLN-belægningen er tæt og ikke mister vandsøjle i løbet af de 24 timer (ud over uundgåelig, marginal afdampning ved rumtemperatur). Testen viser til gengæld, at SMA 6 XLN, som har et noget højere hulrumsindhold, ikke er tæt, idet vandet relativt hurtigt synker for denne.

Resultaterne kan derfor tolkes således, at SMA 8 XLN vil kunne anvendes som et "all-round" slidlag uden særlige krav til underlagets eventuelle følsomhed overfor vandnedsivning, hvorimod SMA 6 XLN kun bør anvendes på et underlag af tæt asfalt, som derved beskytter vejkonstruktionens underliggende lag imod yderligere vandnedsivning og frosthævning.



Fig. 13.9.2: Vejtrafik på SMA 6+11 XLN og SMA 8 XLN udlagt i 2022. Bemærk den korte afstand til rækkehusbebyggelsen på den modsatte side af vejen. Her opnås med SMA 8 XLN en "usynlig" miljøgevinst på 3 dB sænkning af støjniveauet.

14. Miljøforhold - Vurdering af klimapåvirkning for hhv. SMA 8 XLN og SMA 6 XLN

Der er i det følgende foretaget en LCA-screening af klimapåvirkningerne ved anvendelse af XLN-asfaltprodukterne, sammenlignet med et standard SMA slidlag. Beregningerne af klimapåvirkning er foretaget ved udarbejdelse af LCA-beregninger i Asfaltindustriens generator for miljøvaredeklarationer (EPD) for hhv. SMA 8 XLN og SMA 6 XLN. Det er samme EPD-generator, som benyttes til EPD-dokumentation ved Vejdirektoratets asfaltudbud.

14.1 Miljøvaredeklarationer for asfalt – kort fortalt:

På EPD Norge og EPD Danmarks hjemmesider findes beskrivelser af, hvad en miljøvaredeklaration (EPD) er, samt vejledning i, hvordan de læses/tolkes. Nedenfor har vi skrevet specifikt om de miljøvaredeklarationer for asfalt, som de danske asfaltproducenter udgiver gennem EPD Norge ved hjælp af et fælles EPD-værktøj.

Miljøvaredeklarationer af asfalt dokumenterer miljøpåvirkninger og ressourceforbrug for 1 tons asfalt leveret på arbejdsstedet, samt håndtering af asfalten efter endt levetid. Det giver den, der projekterer en vejentreprise, mulighed for at sammenligne miljøpåvirkningen ved forskellige designmuligheder og materialer.

14.2 Hvad er en miljøvaredeklaration (EPD)?

En miljøvaredeklaration er et neutralt dokument, som redegør for et produkts miljøpåvirkning – ligesom en varedeklaration. Miljøvaredeklarationer kaldes ofte EPD'er efter den engelske betegnelse Environmental Product Declaration. EPD'er kan udarbejdes for mange forskellige produkttyper, og der forefindes et hierarki af standarder for, hvordan de skal laves, ligesom de verificeres af en tredjepart.



Fig. 14.2.1: Hierarki for miljøvaredeklarationer (EPD)

Den totale emission af drivhusgasser, opgjort som CO₂-ækvivalenter, findes i det første resultatskema på den øverste linje. Den står under den engelske betegnelse "GWP-total" (Global Warming Potential). Resultaterne står som eksponentielle tal, dvs. 2,08E+01 (=20,8). Resultaterne opgøres på de forskellige faser i asfaltens livscyklus. Standarden fastslår hvilke faser i livscyklussen, der er obligatoriske at medtage i deklarationen, og hvilke der er frivillige at tage med. På nuværende tidspunkt er der krav om, at faserne A1-A3 samt C og D skal indgå, mens A4 og A5 kan deklareres. Der er endnu ikke retningslinjer for, hvordan B kan deklareres for asfalt.

14.3 Eksempel PÅ LCA-beregning

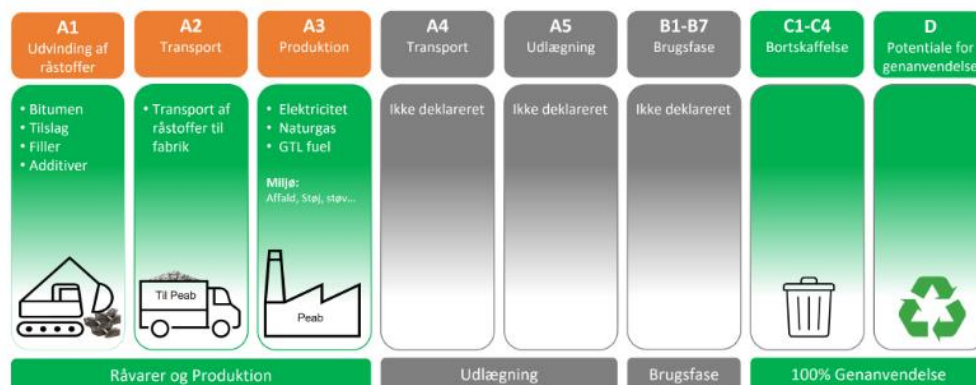


Fig. 14.3.1: Oversigt over de forskellige faser, som indgår "fra vugge til grav".

I A1 deklareres påvirkninger og forbrug fra udvinding af de råmaterialer, der anvendes i den deklarerede asfalt. Det største bidrag kommer fra bitumen og herefter cement, der anvendes som klæbe-forbedrende additiv.

A2 deklarerer påvirkninger og forbrug i forbindelse med transport af råvarer til asfaltværket og her er det især den lange transport af de store mængder granit klippesten, der belaster.

I A3 deklareres påvirkninger og forbrug fra produktionen og her kommer størstedelen af belastningen fra brænderen i tørretromlen, hvor stenene tørres og opvarmes, inden de blandes med bitumen.

A4 er transport af den varme asfalt fra værk til udlægningssted. Ikke indregnet for XLN
I Danmark deklarerer vi (endnu) ikke A5, som er udlægningen eller B1-B7, der er brugsfasen.
I C deklareres påvirkninger og forbrug fra håndteringen af den deklarerede asfalt efter endt levetid – i praksis mindst 10 år ude i fremtiden. Dette er vanskeligt, da den enkelte asfaltproducent ikke har mulighed for at vide, hvordan det producerede ton asfalt vil blive håndteret i fremtiden. I Asfaltindustrien har vi derfor formuleret generiske bortskaffelsesscenarier for asfalt, som bruges af alle producenterne. Scenarierne er baseret på industriens egne oplysninger og Miljøstyrelsens affaldsstatistik og har været præsenteret for Vejdirektoratet.

I C1 fræses belægningen af og her er det fræsemaskinens dieselforbrug, der udgør størstedelen af belastningen.

I C2 transporteres det af fræsende materiale 50 km til et asfaltværk og her er der ligeledes et dieselforbrug til lastbilen. På asfaltværket knuses asfalten (C3), så den er klar til at indgå i en ny livscyklus.

D deklarerer den potentielle anvendelse i en ny livscyklus efter endt levetid. Formålet med D er at vise, om et produkt eller de enkelte råvarer i produktet kan genbruges.

14.4 Resultater

Alle LCA-beregninger er vedhæftet som bilag i form af Miljøvaredeklarationer. Opsummering og konklusioner ses nedenfor:

14.4.1 Total GWP

De beregnede værdier for det totale GWP for SMA 8 XLN og SMA 6 XLN sammenlignet med standard SMA 8 fremgår af nedenstående tabel:

		Kg CO ₂ eq/ton asfalt produceret			
		Sten	SMA 8, PMB	SMA 8, PMB XLN	SMA 6, PMB XLN
A1-A3	Fabrik 1	let skærve	92	93	93

Fig. 14.4.1: Beregnede værdier for total GWP ved anvendelse af stenmateriale med normal/let densitet, fx Durasplitt.

De to XLN-typer ligger på helt samme niveau for CO₂-udledning som almindelig SMA 8 med Polymermodificeret bitumen. Dette gør sig også gældende for andre asfaltfabrikker med andre stenmaterialer – der er blot tale om en niveau-forskydning mellem fabrikkerne, der hovedsageligt skyldes transportafstand for klippegranit, jf. nedenstående.

14.4.2 Total GWP ved alternativ anvendelse af tungt stenmateriale

		Kg CO ₂ eq/ton asfalt produceret			
		Sten	SMA 8, PMB	SMA 8, PMB XLN	SMA 6, PMB XLN
A1-A3	Fabrik 1	let skærve	92	93	93
A1-A3	Fabrik 2	tung skærve	87	88	87

Fig. 14.4.2: Beregnede GWP-værdier ved anvendelse af en tung sten som fx Norit

Sammenlignes XLN-varianterne med SMA 8 KVS (Klimavenligt slidlag, der har sit navn fra reduktion af rullemodstand) sparer XLN-varianterne mellem 2 og 7 kg CO₂. Forskellen skyldes forskelligt indhold af især cement, som har et meget højt CO₂-bidrag.

14.4.3 Varianter for CO₂-besparelse:

Hvis asfalten produceres uden anvendelse af polymermodificeret bitumen, opnås beregningsmæssigt en umiddelbar besparelse på 7 kg CO₂. Dog må der så forventes en kortere levetid (mindst 2 år) for belægningen, som let kan vende denne besparelse til en omkostning.

		Kg CO ₂ eq/ton asfalt produceret				
		Sten	SMA 8	SMA 8, PMB	SMA 8, PMB XLN	SMA 6, PMB XLN
A1-A3	Fabrik 1	let skærve	84	92	93	93
A1-A3	Fabrik 2	tung skærve	80	87	88	87

Fig. 14.4.3.1: Beregnet GWP ved standard hhv. polymermodificeret bitumen

Hvis asfalten derimod produceres med en ansvarlig mængde god kvalitet asfaltgenbrug kan besparelsen på 12-16 kg CO₂ indregnes uden risiko for kortere levetid. Dokumenteret i MUDP projektet: Cirkulær asfaltproduktion fra 2018:

<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/10/978-87-93710-95-5.pdf>.

			Kg CO ₂ eq/ton asfalt produceret	
		Sten	SMA 8, PMB XLN	SMA 8, PMB XLN, 25% GB
A1-A3	Fabrik 1	let skærve	93	77
A1-A3	Fabrik 2	tung skærve	88	76

Fig. 14.4.3.2: Beregnet GWP for SMA 8 XLN med/uden genbrugsasfalt

En sidste gennemregnet variant, er LTA (lavtemperatur asfalt) som er noget mere usikker i sin CO₂-besparelse, idet den beror på en vurdering af besparelsen i gasforbrug til produktion: Her er anslået en besparelse på 1m³ gas/ton asfalt:

			Kg CO ₂ eq/ton asfalt produceret	
		Sten	SMA 6, PMB XLN	SMA 6, PMB XLN LTA (25 C)
A1-A3	Fabrik 1	let skærve	93	91
A1-A3	Fabrik 2	tung skærve	87	

Fig. 14.4.3.3: Beregnet GWP ved fremstilling med standard hhv. lavtemperatur-teknik (sænkning af produktionstemperatur med ca. 30°C)

14.5 Sammenfatning, klimabelastning

Det fremgår af de opstillede beregninger, at de to udviklede XLN-produkter, SMA 8 XLN og SMA 6 XLN ved produktion udviser klimabelastning (GWP) i samme størrelsesorden som for normale skærvemastiks-slidlag af typen SMA 8, som XLN-varianterne typisk vil forventes at erstatte.

Et skift fra standard SMA til den støjreducerende XLN-belægning øger således ikke klimaaftrykket. Dette forhold er uafhængigt af den valgte klippestens densitet (tung/let).

Hvis XLN fremstilles med standard bitumen i stedet for polymerbitumen, vil der kunne opnås en GWP-besparelse på omkring 10%, hvilket dog skal holdes op imod en forventet noget kortere levetid, så der reelt ikke er klimamæssig besparelse ved at anvende standardbitumen.

Hvis der tilsættes 25% genbrugsasfalt i XLN-produktionen, vil der beregningsmæssigt kunne opnås en GWP-reduktion på ca. 15%. For den finkornede SMA 6 XLN kan det dog være en udfordring at finde et egnet genbrugsmateriale, som kan tilfredsstille produktets kornkurve.

Endelig ses, at gevinsten ved anvendelse af LTA-produktionsteknik (også kendt som "Warm Mix Asphalt", med ca. 30°C sænket produktionstemperatur) er marginal, med blot ca. 2% GWP-reduktion.

15. Endeligt produktvalg og oplæg til standardisering

Som det fremgår af de forrige afsnit viser det gennemførte og meget omfattende prøvningsprogram, at specielt to typer af støjreducerende belægninger er egnet til bred anvendelse.

Det drejer sig om følgende nyudviklede typer:

- SMA 8 XLN
- SMA 6 XLN

Fordele og begrænsninger ved valg af de to typer fremgår af nedenstående oversigtsskema, som opsummerer nøgledata fra forsøgsprogrammet:

Belægning	SMA 8 XLN	SMA 6 XLN
Støjreduktion (initialt), ca.	3 dB	4,7 dB
Type	Forbedret SMA 8 variant med øget skærveindhold og bindemiddel samt optimeret tekstur	Speciel, "halvåben" SMA 6 med optimeret tekstur
Bindemiddel	Polymermodificeret	Polymermodificeret
Udlægningsmængde, kg/m ²	70-80	70-80
Udmattelses- og sporkø-ringsmodstand	God	God
Beskyttelse mod vandned-sivning (vandtæthed)	Tæt belægning	Ikke helt tæt belægning
Anvendelse	Generel	Kræver tæt underlag, som tåler nedsivning

Fig. 15.1.1: Oversigtstabel – egenskaber for XLN-varianter

15.1 Forslag til udbudsform (standardtype uden specifik støjdeklaration)

Målet med XLN-projektet har været at udvikle nye standard-belægninger, som (mere eller mindre, afhængig af type) kan benyttes på lige fod med traditionelle, vejregelstandardiserede asfaltslidlag. Vælges en XLN-belægning vides blot, at denne er den mest støjreducerende blandt standard-belægningerne.

Det er projektgruppens forhåbning og mål, at denne ukomplicerede tilgang vil kunne sikre en mere generel udbredelse af de nye XLN-belægninger, uden at medføre omfattende udgifter til støjmålinger og tilhørende deklamationer, sådan som det var tilfældet for det nu hedengangne SRS-system. I de seneste år, efter SRS-systemets opgivelse, har en stor del af de kommunale vejmyndigheder alternativt anvendt SMA 8, som må betragtes som den mindst støjende blandt AAB for varmblandet asfalts standard-slidlag. Med XLN opstår der nu nye muligheder.

Man kan således sige, at XLN-konceptet bygger videre på det bedste fra SRS-systemet og den mellemliggende tidsperiodes erfaringer. Dels sikres imod SRS-belægningernes holdbarhedsmæssige skavanker og dels gøres konceptet mere simpelt og enkelt at overskue og administrere, ligesom komplicerede aktuelle støjmålinger og tilhørende støjdeklarationer dermed undværes.

15.2 Specifikationer for kornkurve, bindemiddel, hulrum og lagtykkelser

XLN-belægninger foreslås udbudt med baggrund i Vejdirektoratets AAB for varmblandet asfalt, men med nedenstående specielle krav sæt, som enten vil kunne indarbejdes i en SAB eller alternativt – på sigt – vil kunne indarbejdes i Vejdirektoratets AAB for varmblandet asfalt.

Belægningstype	SMA 8 XLN	SMA 6 XLN
Stenmateriale, knusningsgrad	C95/1	C95/1
Genbrugsasfalt (slidlagsgenbrug), maksimal (%)	25%	25%
Bindemiddel	Polymermodificeret, elastomer	Polymermodificeret, elastomer
Bindemiddelindhold (%)	≥ 6,2*	≥ 6,0*
Klæbeforbedring	1,5% cement eller amin med samme effekt	1,5% cement eller amin med samme effekt
Sigteanalyse Gennemf. 11,2 mm (%)	100	100
8 mm (%)	90 – 100	100
5,6 mm (%)	60 – 75	90 – 100
2 mm (%)	20 – 30	25 – 40
0,063 mm (%)	7,0 – 11,0	6,0 – 10,0
Marshall hulrum** (%)	3,5 – 6,0	6,0 – 9,0
Sporkøring, WTS (mm/10 ³)	≤ 0,070	≤ 0,070
Udlægningmængde (kg/m ²)	70 - 80	70 – 80***
Komprimeringsgrad, K, Tolerance (%)	≥ 95,0	≥ 95,0

*) Ved stendensitet 2,65 Mg/m³. Korrigeres for aktuel stendensitet jf. AAB varmb. asfalt.

**) Densitet bestemmes jf. DS/EN 12697-6, metode B (SSD), uanset hulrumsniveau.

***) SMA 6 XLN kan ikke betragtes som vandtæt, hvorfor underlaget skal kunne tåle nedsi-vende vand.

Fig. 15.2.1: Forslag til udbudsbetingelser (specifikationer) for SMA 6 XLN og SMA 8 XLN.

16. Forslag til videre arbejde

XLN-projektet har udviklet to nye hovedtyper af slidlagsbelægninger med støjreducerende egenskaber, hvor der er påvist op til knap 5 dB støjreduktion, set i forhold til den fællesnordiske Nord2000 referenceværdi.

I projektet er der taget udgangspunkt i at udvikle nye belægninger ud fra SMA-konceptet, som normalt betragtes som den mest robuste slidlagstype på markedet. Der er således valgt relativt prisgunstige løsninger, som ikke nødvendigvis medfører store ekstraudgifter til forberedende arbejder eller efterfølgende regelmæssigt vedligehold.

En anden – og i visse lande meget udbredt – støjreducerende belægningstype er drænasfalt (DA), som giver andre muligheder for støjreduktion og samtidigt tilfører nye synergi-effekter.

16.1 Nye muligheder med drænasfalt

At drænasfalt har støjreducerende egenskaber er ikke noget nyt. I Holland, hvor befolkningstætheden er betydeligt større end i Danmark, har drænasfalt ("ZOAB") igennem mere end 20 år været den foretrukne belægningstype til motorveje og stærkt trafikerede omfartsveje ("ZOAB"). Hollænderne har både arbejdet med ét- og tolags drænasfaltbelægninger, som har gode støjreducerende egenskaber og samtidigt har særdeles gode vandafledningsevner, så opsprøjt i vådt føre minimeres. Drænasfalt kan endvidere aflede vandet betydeligt hurtigere fra overfladen end nogen anden kendt asfalttype, hvilket er kærkomment i tider, hvor der som følge af klimaforandringer må forventes fortsat stigende intensitet i skybrudshændelser.

I Danmark blev der i 1999 udført forsøg med forskellige kombinationer af to-lags drænasfalt på dele af Øster Søgade i København. Belægningerne fungerede rigtig fint – specielt varianten med 2/5 mm finkornet drænasfalt i toppen, men en grovere 0/11 mm drænasfalt i det nedre "opmagasineringslag" for både støj og vand. Der viste sig dog at være en del udfordringer med drænasfalt i byområder: Dels kræver det etablering af særlige afløbsmuligheder med kloakindløb i niveau med drænasfaltens bund for at undgå vandopstuvning og dels viste det sig, at belægningens hulrum i løbet af relativt få år stoppede til med vejsnavs og nedfaldne blade fra vejens løvtræer. Det blev derfor fastslået, at drænasfaltbelægninger, specielt i byområder, kræver løbende, præventiv oprensning af porer med egnet spule-/sugebil måske 1-2 gange årligt.

Endvidere viste erfaringerne, at da drænasfaltens hulrum er mere udsatte for lufttilgang og iltning end normalt, vil der med tiden ske en hurtigere ældning af asfaltens bindemiddel. I Holland anvendes derfor regelmæssig emulsionsforsegling af drænasfaltens bindemiddelhinder. Dette kræver anvendelse af en speciel teknik, som ikke lukker drænasfaltens hulrum, men finjusteres til at "forynge" bindemiddelhinderne i belægningen. Endelig skal vinterbekæmpelse (saltning) tilpasses denne belægningstypes opførsel i koldt vejr, hvor alm. vejsalt har en tendens til at søge mod bunden af hulrummene.

I Danmark har der igennem de seneste 20-25 år kun meget sjældent været anvendt drænasfalt på større veje, men med et øget behov for effektiv støjreduktion i kombination med gode drænegenskaber til modvirkning af klimaforandringernes vandopstuvningsproblemer kunne det givetvis være interessant at kigge nærmere på drænasfalt-konceptet igen, som fortsat er det foretrukne slidlag på motorveje i Holland og som også har fået en vis udbredelse i lande som Tyskland, Østrig og Spanien.

16.2 Tværgående optimering af dæk og veje

Som nævnt i et tidligere afsnit kan der med de nye XLN-belægninger opnås op imod 5 dB støjreduktion set i fht. den nordiske referenceværdi. Samtidigt, som nævnt i et andet afsnit, kan der godt være 5 dB forskel imellem støjafgivelsen fra det mest støjende og det mindst støjende bildæk i en given størrelse.

Det kunne derfor være optimalt, hvis der kunne etableres en form for tværfagligt samarbejde imellem dæk- og vejbranchen, således at vejbelægningernes udvikling specifikt var tilpasset til dækbranchens optimalt støjmindskende dæk.

Ved den tilstræbte overgang af biler fra fossil forbrændingsmotor til el-drevne køretøjer vil trafikstøjsbidraget fra forbrændingsmotorerne forsvinde. Til gengæld er el-biler – som følge af store, tunge batterier – generelt væsentligt tungere end tilsvarende biler med traditionel benzin-/dieselmotor. Det betyder, at elbilerne anvender større og bredere dæk, som giver større støjafgivelse. Det er derfor endnu mere vigtigt end tidligere at gennemføre tiltag, som kan reducere dæk-/vejstøjen, samtidigt med at fremkommeligheden opretholdes.

17. Referencer

- [1] O. G. Andersson og L. R. Josephsen, »XLN (Xtra Low Noise) - Nyt, robust støjreducerende slidlag udvikles med ny teknologi,« *Trafik & Veje*, April 2020.
- [2] P. Finne og T. H. Petersen, *Trafikstøj er farligt for vores helbred - men hvad gør vi ved det?*, www.forcetechnology.com, 2021.
- [3] Gate21, Rambøll, Force og RegionHovedstaden, »Trafikstøj kræver handling - Fakta, udfordringer og løsninger. Hvidbog april 2020.,« 2020.
- [4] »<https://roligbolig.dk/sadan-maler-man-stoj/>,« [Online].
- [5] L. TV2, »København vil overdække to motorveje,« 1. februar 2022.
- [6] H. Bendtsen, »Støjdæmpning over lang tid, VD Rapport 520,« Vejdirektoratet, 2013.
- [7] U. Sandberg og J. A. Ejsmont, *Tyre/Road Noise Reference Book*, Informex, 2002.
- [8] Vejdirektoratet, Håndbog, NORD2000. Rapport 434, Vejdirektoratet, 2013.
- [9] O. G. Andersson, »Klimavejen - Udvikling af støjreducerende drænasfalt til regnvandshåndtering,« December, MUDP Miljøprojekt nr. 1996, Miljøstyrelsen, 2017.
- [10] A. Hundahl, *Asfalthåndbogen*, Asfaltindustrien.
- [11] O. G. Andersson, »Dansk asfaltvejbygning igennem 125 år,« *Trafik og Veje*, pp. 4-13, November 2012.
- [12] O. G. Andersson, »Klimavejen - Udvikling af støjreducerende drænasfalt til regnvandshåndtering,« Miljøstyrelsen, MUDP, 2017.
- [13] O. G. Andersson, »Trafikstøjen kan snart reduceres med nyt robust Xtra Low Noise (XLN) slidlag,« *Trafik & Veje*, pp. 34-37, Marts 2022.
- [14] O. G. Andersson og L. R. Josephsen, »De nye støjreducerende XLN-belægninger (Xtra Low Noise) er nu klar til brug,« *Trafik & Veje*, pp. 42-44, November 2023.

[Bagside Overskrift]

[Bagside Tekst]



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk