ER DER ALTERNATIVER TIL ASFALT I DANMARK?

Erfaringsopsamling, teknisk analyse og samfundsøkonomisk analyse af asfalt, Densiphalt og beton.

Christian Fræhr & Søren V. Knudsen
Aalborg Universitet
Vej- og Trafikteknik
Afgangsprojekt 2008

Det Ingeniør-, Natur- og Sundhedsvidenskabelige Fakultet
Civilingeniøruddannelsen i Vej- og Trafikteknik
Fibigerstræde 11-13
9220 Aalborg Ø
Tlf. 96 35 80 80
http://trafik.aau.dk

Titel: ER DER ALTERNATIVER TIL ASFALT I DANMARK?

Erfaringsopsamling, teknisk analyse og samfundsøkonomisk analyse af asfalt, Densiphalt og beton.

Tema: 10. semester - Afgangsprojekt

Projektperiode: 1. februar – 12. juni 2008

Forfattere:

Christian Fræhr

Søren Vinther Knudsen

Vejleder: Erik Kjems

Oplagstal: 4

Sideantal: 158

Bilag: CD-rom

Afsluttet den: 12. juni 2008

Synopsis:

Trafikken stiger på de danske veje, hvoraf især de i forvejen mest trafikerede veje har den højeste trafikvækst. Dette har den konsekvens, at vejene nedbrydes hurtigere, reparationer foretages oftere og nødvendiggør begrænsning af trafikken, en omfordeling af denne eller udvidelse af vejnettet.

Dette projekt tager udgangspunkt i denne problematik og forsøger at give et svar på, om nogle af de nævnte problemer kan mindskes ved at benytte andre vejbelægningsmaterialer.

Rapporten indledes med en historisk gennemgang af vejbygningen i Danmark. Herpå præsenteres, hvorledes vejbygningen foretages og administreres i udlandet, hvorefter en erfaringsopsamling med hensyn til at benytte andre vejbelægningsmaterialer end asfalt i Danmark foretages.

Desuden foretages en teknisk analyse af tre vejbelægningsmaterialer: asfalt, beton og Densiphalt. Her undersøges de tre materialers tekniske parametre i forhold til hinanden.

Endeligt afrundes rapporten med en samfundsøkonomisk analyse, hvis formål er at undersøge, om det er økonomisk fordelagtigt at benytte henholdsvis beton eller Densiphalt i stedet for asfalt til vejbelægninger i Danmark.

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatterne.

Forord

Denne rapport er udarbejdet som dokumentation for et afgangsprojekt på Civilingeniøruddannelsen i Vej- og Trafikteknik, der er en del af B-sektoren under Det Ingeniør-, Natur- og Sundhedsvidenskabelige Fakultet ved Aalborg Universitet i foråret 2008.

Idéen til projektet udspringer af de to forfatteres praktikophold i efteråret 2007, hvor den ene var i praktik ved et entreprenørfirma i Danmark, mens den anden var i praktik ved en vejmyndighed i staten Wisconsin, USA. Her stiftede de studerende bekendtskab med forskellige metoder til vejbygning.

Projektet henvender sig til personer med arbejde i vejbygningsbranchen og andre med interesse indenfor vejbygning og vejbelægninger.

Rapporten består af en hovedrapport og en cd-rom. I rapporten præsenteres forudsætninger, analyser, vurderinger og resultater. På cd-rommen er lagt rapporten og relevante bilag.

Figurer og tabeller er nummereret fortløbende igennem hele rapporten i henhold til kapitelnummer.

Litteraturhenvisninger i rapporten er udarbejdet som følgende: [Forfatter udgivelsesår]. Ved tre eller flere forfattere tilføjes et al. efter nævnte forfatter, mens der ved flere henvisninger til samme forfatter tilføjes et bogstav i alfabetisk rækkefølge efter udgivelsesåret. Yderligere oplysninger om de enkelte kilder findes i litteraturlisten.

Der rettes endvidere en tak til følgende personer, som har bidraget til udarbejdelsen af rapporten:

Finn Thøgersen, Vejdirektoratet.

Carsten Drangsfeldt Jensen, Peter Skov, Finn Møller og Frede Amdi, NCC Roads A/S.

Dirch Bager, Aalborg Portland

Curt Neuhauser, Wisconsin Department of Transportation.

Søren V. Knudsen

Christian Fræhr

Abstract

The rising traffic volumes are putting a strain on the Danish road system and the deterioration is happening more rapidly than before. To make things worse, the largest growth in traffic volumes are seen on the superior road network, whereas this system is experiencing larger problems than the rest of the Danish roads. A faster deterioration causes the need of the roads to be maintained more frequently than normal. Road construction leads to traffic delays and in the big picture the Danish society is loosing money because of the extra time cars and trucks are wasting on the roads. Furthermore the Danish Road Authorities are spending more and more money on keeping the roads in an acceptable condition.

This project is dealing with the above problem and the main objective is to do research within alternative road pavement, which will help reduce the above problems. The reason to the research is that asphalt is the only pavement type in Denmark at the present time.

Densiphalt and concrete are studied as alternatives to asphalt pavement. Concrete pavement has a prior history in Denmark, but Densiphalt is only used, at present time, on certain areas with heavy loads and has never been used as road pavement. The studies are only dealing with the top layer of the road, since most demands are minded this layer, the layer is visible and the road users are in direct contact with it.

The two alternatives, concrete and Densiphalt, are analysed throughout the project in three different ways: experiences, technical analysis and a lifecycle cost analysis.

The section dealing with experiences is including a description of concrete and Densiphalt, since the level of knowledge concerning these two pavements is lower than the knowledge regarding asphalt. Furthermore the section is presenting how the two pavement types can be used in Denmark based on experiences from Denmark and foreign countries.

The group recommends that the concrete pavement is made as a jointed plain concrete pavement. The concrete should be placed with a slipform paver and the surface texture should be established by exposing top aggregates.

The construction methods of Densiphalt is at present time slow compared to asphalt and the knowledge of how to use Densiphalt as road pavement is limited. Therefore the group recommends that Densiphalt must be developed further before it is used as pavement.

The technical analysis is dealing with a comparison between asphalt, Densiphalt and concrete where each pavement is evaluated on several demands from the Danish road authorities. The result of the analysis states that all pavements can comply with the demands, and in some cases the two alternatives are superior to asphalt.

The lifecycle cost analysis is dealing with two scenarios: a freeway and an approach road. Under the given circumstances introduced in the project, the analysis shows that concrete is a better economic investment than asphalt. Even Densiphalt is able to compete with asphalt in several situations.

The overall conclusion of the project is that there are alternatives to asphalt that both technically and economically is a better solution than the ordinary asphalt pavement. Furthermore the Danish road authorities should consider using lifecycle cost analysis's when selecting pavement types.

Sammenfatning

Trafikken i Danmark stiger og takt med dette nedbrydes vejene hurtigere og hurtigere, hvor det særligt er det overordnede vejnet med de i forvejen mest belastede veje, der er udsatte for denne vækst. Den umiddelbare konsekvens af dette er, at der oftere skal udføres reparationer af det danske vejnet. Vejarbejde forårsager forsinkelser i trafikken, hvilket betyder, at samfundet mister mange penge, fordi bilister og gods bruger ekstra tid på vejene og vejmyndighederne skal oftere bruge penge på reparationer.

I dette projekt undersøges det, om der findes alternativer til asfalt, som kan mindske disse problemer uden samtidig at skabe nye. Årsagen til denne undersøgelse er, at der i øjeblikket ikke benyttes andre typer materialer til vejbelægninger end asfalt i Danmark.

Til undersøgelse af til dette problem tages der udgangspunkt i beton, der før har været benyttet som vejbelægning i Danmark, og Densiphalt, der på nuværende tidspunkt kun benyttes til særligt belastede arealer. Endvidere er det overfladebetragtninger, der finder sted, eftersom der stilles flest krav til slidlaget, der også er det synlige lag, som trafikanterne er i direkte berøring med.

De to alternativer, beton og Densiphalt, analyseres i projektet på tre måder. Der foretages en erfaringsopsamling, en teknisk analyse og en samfundsøkonomisk analyse.

Erfaringsopsamlingen indeholder beskrivelser af beton og Densiphalt, da det vurderes at kendskabet til disse er mindre end kendskabet til asfalt. Yderligere præsenteres det, hvordan de to materialer kan benyttes til vejbygning med udgangspunkt i danske og udenlandske erfaringer.

En fremtidig betonbelægning i Danmark bør udføres uarmeret men med dyvler og tværfuger. Selve betonen skal udlægges med slipform paver og overfladen skal skabes ved frilægning af skærver.

Udlægningen af Densiphalt er på nuværende tidspunkt meget langsommelig og kendskabet til at bruge den til vejbygning er minimalt. Derfor bør udlægningsteknikken forbedres inden større vejbygninger bør finde sted.

Den tekniske analyse sammenligner asfalt, beton og Densiphalt på en række parametre, der benyttes ved almindelig vejbygning i Danmark. Resultatet blev, at begge alternativer godt kan opfylde samme krav som asfalt, nogle endda bedre end asfalt.

Den samfundsøkonomiske analyse blev udarbejdet for henholdsvis et motorvejs- et indfaldsvejsscenarium. Med de forudsætninger opstillet i dette projekt blev resultatet, at beton bør foretrækkes som vejbelægning. Desuden vil det i en række tilfælde også være en fordel at bruge Densiphalt frem for asfalt.

Endeligt konkluderes det, at der findes alternativer til asfalt, som med stor fordel kan benyttes. Yderligere vil samfundsøkonomiske analyser være fordelagtige ved belægningsvalg.

Indholdsfortegnelse

ITRODUKTION

1. INDLEDNING 15

2. BELÆGNINGSTYPER I DANMARK OG I UDLANDET 21

2.1. BELÆGNINGER I DANMARK 21

2.2. NUVÆRENDE SITUATION I DANMARK 22

2.3. TENDENSER I UDLANDET 25

2.4. SAMMENFATNING 27

3. PROBLEMFORMULERING 29

3.1. AFGRÆNSNING 30

ERFARINGSOPSAMLING

4. BETONBELÆGNINGER 35

4.1. ERFARINGER MED BETONVEJE I DANMARK 35

4.2. BETONVEJE I UDLANDET 46

4.3. SAMMENFATNING 53

4.4. FORSLAG TIL BETONBELÆGNING 53

5. DENSIPHALT 55

5.1. ERFARINGER 55

TEKNISK ANALYSE

6. GENERELLE KRAV TIL VEJBELÆGNINGER 61

6.1. FUNKTIONSKRAV TIL VEJBELÆGNINGER 61

7. OPFYLDELSE AF TEKNISKE KRAV 71

7.1. FRIKTION 71

7.2. JÆVNHED 73

7.3. PROFIL 76

7.4. LYSHED 78

7.5. STØJ 80
7.6. HOLDBARHED 82
7.7. SAMMENFATNING 84

SAMFUNDSØKONOMISK ANALYSE

8. SAMFUNDSØKONOMISK ANALYSE - TEORI 89
8.1. FORMÅL OG ANVENDELSE 89
8.2. TYPER AF ANALYSER OG EVALUERINGSKRITERIER 89
8.3. OVERORDNEDE BEREGNINGSPARAMETRE 92
8.4. RISIKO- OG FØLSOMHEDSANALYSE 94
8.5. SAMMENFATNING 95
9. SAMFUNDSØKONOMISK ANALYSE AF BETON, ASFALT OG DENSIPHALT 97
9.1. PRÆSENTATION AF SCENARIER 98
9.2. FORUDSÆTNINGER 102
9.3. OMKOSTNINGER OG EFFEKTER 103
9.4. RESULTATER AF DEN SAMFUNDSØKONOMISKE ANALYSE 123
10. RISIKO- OG FØLSOMHEDSANALYSE 127
10.1. PARAMETRE 127
10.2. ROBUSTHEDSVURDERING 130

AFSLUTNING

11. VURDERING AF RESULTATER 135
12. KONKLUSION 139
13. PERSPEKTIVERING 143
14. LITTERATURLISTE 145

INTRODUKTION

Denne sektion har til formål at give læseren en introduktion til projektet. Indledningsvist bliver det præsenteret, hvorfor det er relevant at undersøge, hvorvidt der findes alternative belægninger til asfalt, hvor hovedargumentet ligger i de stigende trafikmængder. Efterfølgende beskrives udviklingen indenfor vejbelægninger i Danmark, for at klarlægge den udvikling der er sket gennem tiderne. De stigende trafikmængder er også at finde i udlandet, hvorfor sektionen indeholder en beskrivelse af tendenserne i udlandet. Afslutningsvist præsenteres en problemformulering for projektet, der er at undersøge, om det er muligt at finde et alternativt vejbelægningsmateriale, der både teknisk og økonomisk vil kunne konkurrere med asfalt.

1. Indledning

Vigtigheden af en tilstrækkelig og funktionel infrastruktur får til stadighed større og større betydning i det danske samfund grundet den øgede økonomiske vækst, globalisering, ændringer i den demografiske sammensætning og nye transportmuligheder. Uden en velfungerende infrastruktur vil ikke mindst erhvervslivets udvikling blive hæmmet og Danmark kan blive fravalgt, i det fremtidige kapløb om at sikre den størst mulige udvikling. Udviklingstendenserne stiller store krav til infrastrukturen, herunder også transportområdet. Hvis transportområdet ikke udvikles og holdes ved lige, vil det hindre udviklingen og dette vil få betydning for Danmarks økonomiske situation. [Vejdirektoratet 2007]

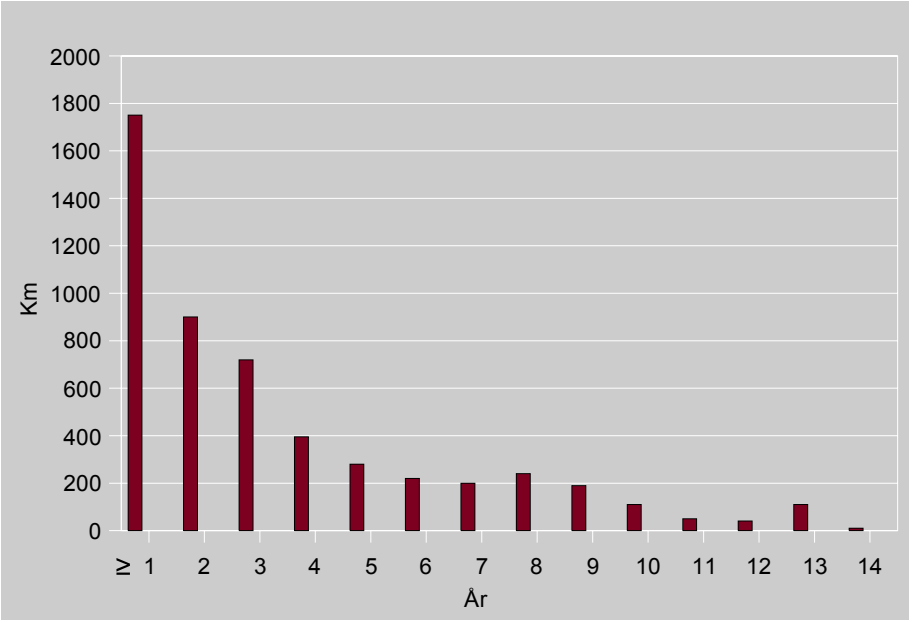
Globaliseringen øger især transportefterspørgslen. Globaliseringen gør, at samhandlen mellem andre lande bliver større og større, antallet af produktionssteder reduceres, hvilket skaber mere transport, hvorfor det er vigtigt at vejinfrastrukturen udbygges i takt med udviklingen. Kvaliteten af det overordnede vejnet i Danmark spiller derfor en stor rolle i erhvervslivets mulighed for at opbygge tilstrækkelige transportkæder og sikre den forsatte udvikling. En udbygning af vejnettet er ikke alene tilstrækkelig, det er også vigtigt at de nuværende veje er af en sådan kvalitet, at det ikke generer brugerne. Foretages der kontinuerlige reparationer af vejene, vil dette skabe gener for trafikanterne. [Vejdirektoratet 2007]

De typiske problemer, der kan opstå på allerede eksisterende asfaltveje i Danmark, er rivninger, revner og sporkøring, hvoraf især sporkøring opstår ved gentagende belastning med tung trafik. Disse problemer sammenholdt med almindelig slidtage og vejrforhold har store betydninger for levetiden af vejbelægningerne. Det er fordelagtigt at have så lang levetid som muligt, så gener og dermed også omkostninger i forbindelse med reparationer bliver holdt på et minimum. Hvis det er nødvendigt at udlægge nyt slidlag hver 12. år, skaber dette store gener for brugerne i form af tabt arbejdstid. Dette sker ved at brugeren enten skal ledes ud på en omvej mens reparationerne står på, eller at der opstår stor trængsel på motorvej på grund af sporlukning. Endvidere er der også forbundet store omkostninger i forbindelse med reparationerne. Dette skyldes ikke mindst, at det i større grad er blevet almindelig praksis at foretage større asfaltarbejder om natten, netop for at undgå gener for brugerne [Thøgersen 2008].

I 2007 blev der udarbejdet en rapport omhandlende tilstanden af det danske statsvejnet. Statsvejnettet har en samlet længde på cirka 3.850 km, og udgør dermed kun omkring fem procent af det samlede offentlige vejnet. På trods af dette, afvikler statsvejnettet, der består af cirka 1.000 km motorveje, 350 km motortrafikveje og 2.500 km øvrige statsveje, der alle er med til at forbinde de forskellige landsdele i Danmark, omkring 45 procent af den samlede vejtrafik i Danmark. Statsvejnettets tilstand har derfor en stor betydning for Danmarks fremtidige udvikling, da nedbrydningen vil skabe gene for 45 procent af den samlede vejtrafik. [Vejdirektoratet 2007]

Et slidlag har normalt en gennemsnitlig levetid på 12 år, hvorefter det er nødvendigt at udlægge et nyt slidlag. Cirka halvdelen af de danske statsveje har under et års levetid tilbage,

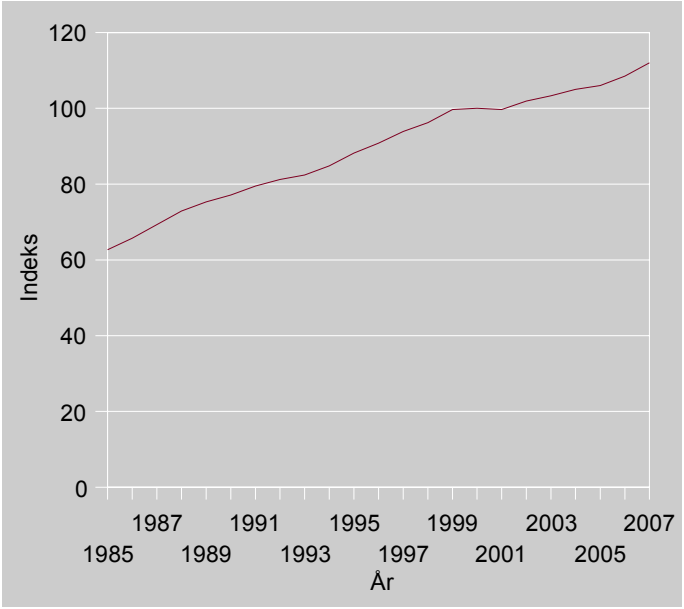
jf. figur 1.1. Vejenes tilstand er vurderet ud fra kørebanernes jævnhed, friktion, sporkøring og holdbarhed. [Vejdirektoratet 2007]



Figur 1.1. Vurderet levetid ud fra jævnhed, friktion, sporkøring og holdbarhed. [Vejdirektoratet 2007]

Vejdirektoratet, der vedligeholder de danske statsveje, står derfor over for en stor udfordring indenfor de nærmeste år, jf. figur 1.1, da omkring 65 procent af vejene skal have nyt slidlag indenfor tre år. En levetid på nul år, betyder ikke at slidlaget er totalt nedbrudt. Slidlaget vil stadig kunne fungere som vejbelægning, men på grund af tilstanden vil omkostningerne til reparationer stige, og et nyt slidlag vil ikke alene kunne restaurere vejen, men det vil også være nødvendigt med reparationer i bærelaget. [Vejdirektoratet 2007]

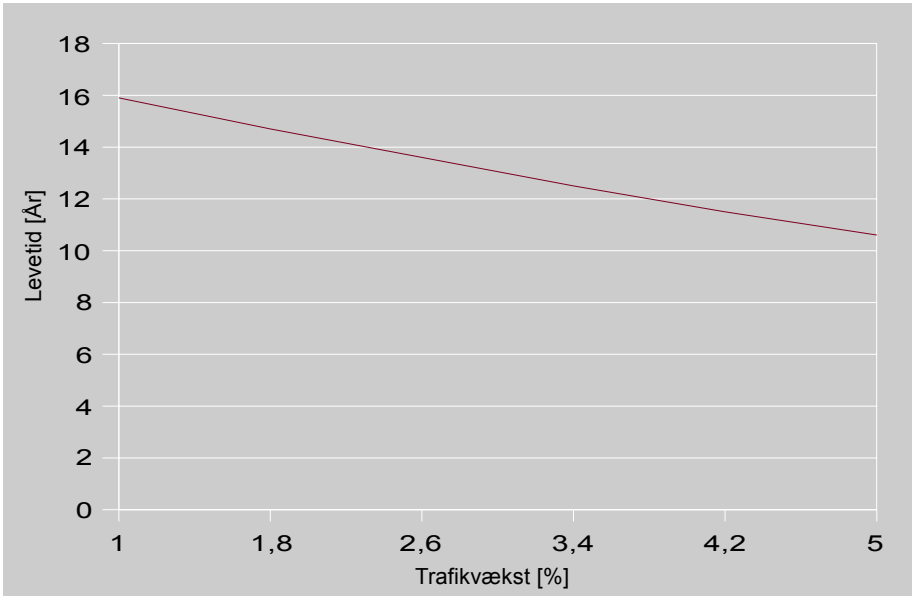
Noget tyder på, at slidlaget nedslides hurtigere end den forventede levetid på 12 år, da det danske statsvejnet er udbygget løbende og levetiden af statsvejene derfor burde være mere ligeligt fordelt. De øgede trafikmængder på de danske veje er medvirkende til denne nedslidning. Siden 1985 er trafikmængderne steget hvert eneste år, med undtagelse af 2001, hvor der har været en beskeden tilbagegang, jf. figur 1.2.



Figur 1.2. Trafikkens udvikling gennem de sidste 23 år. [Vejdirektoratet 2006c]

Over den 23-årig periode er trafikken steget gennemsnitlig 2,6 procent pr. år. Sammenlignes denne stigning med den fremskrivningsfaktor for trafikvæksten, som Vejdirektoratet har anvendt, er der en stor forskel. Den anvendte faktor var 1,8 procent i 1996, og den faktiske vækst har dermed været omkring 40 procent højere end det forventede [Mikkelsen 1999]. Dette faktum er en væsentlig grund til at tilstanden af de danske veje er kritisk.

Indvirkningen af at den gennemsnitlige trafikvækst har været højere end det forventede, er illustreret, jf. figur 1.3.



Figur 1.3. Sammenhængen mellem levetid og trafikvæksten.

Levetidsberegninger, jf. figur 1.3, er beregnet på baggrund af en standardopbygning af en vej, i trafikklassen T5 [NCC 2008a]. Som det fremgår, bliver levetiden mindsket, desto større

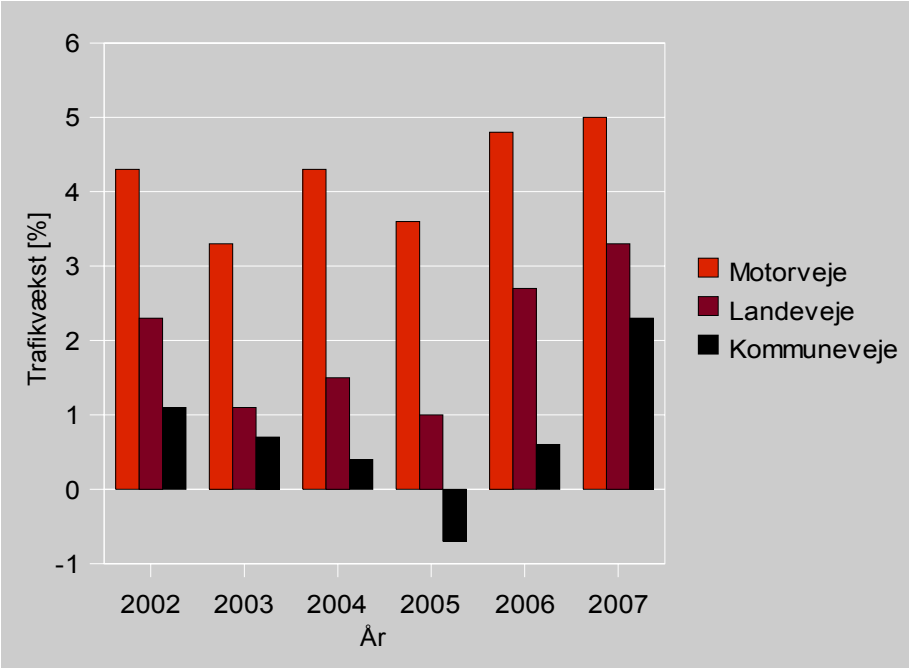
trafikvæksten er. Forskellen mellem den faktiske trafikvækst og Vejdirektoratets betyder en mindskning af levetiden på cirka ét år, jf. figur 1.3. Beregningerne er udført i Vejdirektoratets dimensioneringsprogram Mmopp2007. Levetiden kan dermed ikke sammenlignes den forventede levetid på 12 år.

En anden grund til statsvejenes forfald er manglende vedligeholdelse. Vejdirektoratet har fået ekstrabevilliger til at indhente efterslæbet, men på trods af dette er efterslæbet uændret i 2007 i forhold til 2002. Eneste ændring er at endnu flere statsveje er under større forfald end i 2002. [Nielsen 2008]

Uanset hvad skævvridningen skyldes, med hensyn til at 65 procent af statsvejene skal have nyt slidlag indenfor tre år, ændrer det ikke på det faktum, at de danske veje skal igennem en omfattende restaurering. Dette vil skabe gene for bilisterne og kunne være undgået, hvis slidlaget havde en længere levetid.

Det faktum, at trafikken stiger hvert år, øger slidtagen, og i og med at den økonomiske udvikling og globalisering regnes med at forsætte, forventes trafikken også at stige. Indtil år 2030 forventes trafikken at stige omkring 70 procent på de danske statsveje, hvilket svarer til 2.4 procent pr. år. [Infrastrukturkommissionen 2008]

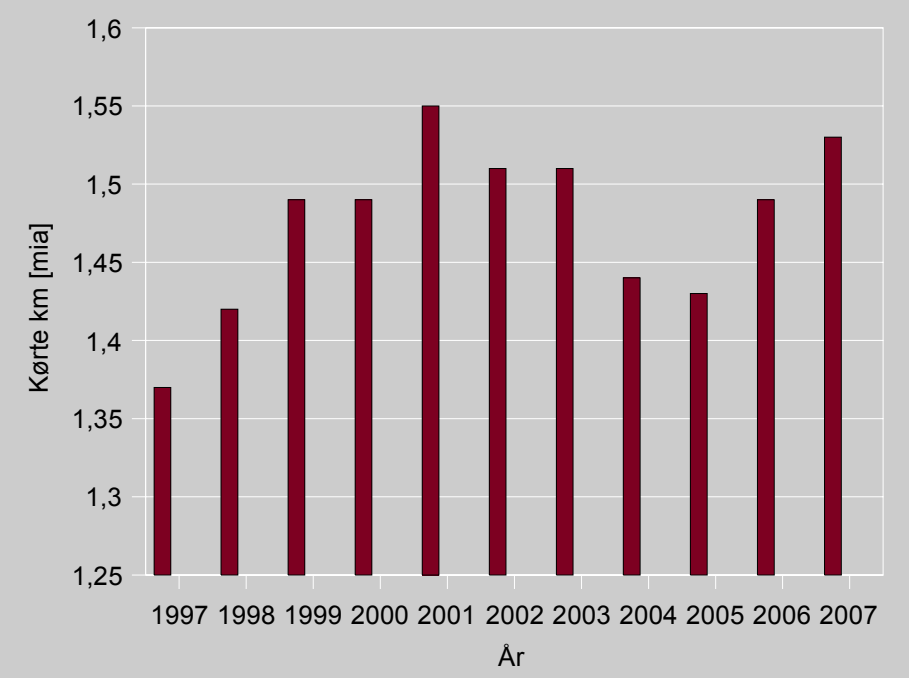
Stigningen har de senere år været størst på statsvejene, jf. figur 1.4, hvor trafikken steg med 4,8 og 5,0 procent i henholdsvis 2006 og 2007.



Figur 1.4. Udvikling i biltrafikken efter vejtype. Data fra 2007 indeholder kun 3 kvartal. [Vejdirektoratet 2006c]

At stigningen er størst på motorveje og landeveje korrelere godt med at det er disse vejtyper, der står for cirka 45 procent af den samlede vejtrafik. Stigningen på de overordnede veje underbygges endvidere af globaliseringen og den stigende pendling mellem de danske byer.

Den tunge trafik, der giver den største belastning af vejene, forventes også at stige de kommende år. Gennem en 10-årig periode har antallet af kørte kilometer med lastbil varieret, jf. figur 1.5. Generelt har tendensen været stigende i perioden 1997 – 2001, hvorefter der har været en årrække med tilbagegang. Dette kan muligvis begrundes med, at der i perioden har været stor fokus på optimering af transporterne, og derved er der blevet kørt mindre, men også at lastbilerne er blevet større [Vejdirektoratet 2007]. I 2006 og 2007 er der atter observeret en stigning.



Figur 1.5. National udvikling i vejgodstransport. [Danmarks Statistik 2008]

At lastbiltrafikken har været stigende kommer især til udtryk på nogle af de danske motorveje. Den øgede transport mellem lande i Europa, grundet globaliseringen, benytter hovedsagelig dette vejnet, hvilket har resulteret i stigninger mellem 19 procent til 37 procent i lastbiltrafikken på enkelte strækninger i perioden 2000 til 2006. Dette har medført, at der på udvalgte strækninger er en lastbilprocent mellem 15 - 20 procent. [Vejdirektoratet 2007]

De øgede mængder af lastbiltrafik sætter de danske veje under et endnu større pres, nedslidningen øges og vejens levetid får stor betydning.

Den forventede stigning i trafikmængderne kan endvidere underbygges ved at se på tendenserne i andre lande. Ejerskabet af motorkøretøjer, herunder lastbiler og busser, i eksempelvis USA er langt højere end i Danmark. Den udvikling der sker i USA, kan som oftest forventes at ske i Europa i efterfølgende år.

I 2006 var der i USA 816 motorkøretøjer pr. 1000 indbyggere [US Department of Transportation 2008]. Sammenlignes dette med situationen i Danmark i 2006 var der tilsvarende 467 pr. 1000 indbyggere [Danmarks Statistik 2008]. Dette svarer til lidt over halvdelen af niveauet i USA, hvorfor det må formodes, at stigningen i trafikken ikke stopper indenfor de nærmeste år. Udviklingen i USA kan dermed give en indikation af, hvad Danmark kan have i vente.

Ud over det høje bilejerskab er der i USA også langt højere trafikmængder på vejene, der i Danmark hidtil virker uhørt. I USA er det ikke unormalt med en årsdøgnstrafik over 250.000 [US Department of Transportation 2008a]. Grundet de høje trafikmængder er belægninger med lang levetid et område med stor fokus, da det ønskes at mindske trængslen på vejene [US Department of Transportation 2007]. Dette har medført at det der i USA er valgt at benytte andet en asfalt som belægning.

For at modstå belastningen af trafikken anvendes der blandt andet i USA to forskellige typer af belægninger, beton og asfalt, hvorimod Danmark kun anvender asfalt. Da det forventes at trafikken vil stige betragteligt over de næste mange år i Danmark, vil denne rapport tage udgangspunkt i en sammenligning af asfalt og andre vejbelægninger, for at undersøge om der findes et alternativ til asfalt. Det efterfølgende kapitel vil gennemgå den historiske udvikling af belægningstyper i Danmark, og udviklingen i USA samt andre lande i Europa.

2. Belægningstyper i Danmark og i udlandet

De kommende stigninger i mængden af lastbil- og biltrafik kan få store betydninger for de danske asfaltveje, hvis de ikke lever op til den forventede levetid og dermed skal repareres oftere. I udlandet anvendes beton som vejbelægning på tungtbelastede veje, men på nuværende tidspunkt ses dette ikke som et alternativ i Danmark.

I dette kapitel gennemgås den historiske udvikling af belægningstyper i Danmark, efterfulgt af en præsentation af hvordan veje opbygges i Danmark på nuværende tidspunkt og hvordan den pågældende belægningstype bliver udvalgt. Dette opfølges af en præsentation af hvilke vejbygningsmaterialer, der udover beton kan være med til en alternativ opbygning af vejen. Kapitlet vil slutteligt præsentere i hvor stort omfang betonveje anlægges i udlandet for at imødekomme de større trafikmængder og hvordan udvælgelsesprocessen finder sted.

Hensigten med kapitlet er, at opnå en forståelse for, hvorledes udviklingen har været i Danmark indenfor vejbygning både historisk set, men også hvordan situationen er på nuværende tidspunkt. Hertil ønskes en overordnet viden om andre vejbygningsmuligheder og udvælgelseskriterier, hvorfor en række andre landes erfaringer kort beskrives.

2.1. Belægninger i Danmark

De første forsøg på at opbygge veje i Danmark skete først omkring slutningen af 1700-tallet. Den daværende konge var opmærksom på, at blandt andet Frankrig var langt fremme i udviklingen af veje, og han besluttede derfor, at der skulle udarbejdes en Vejforordning, der skulle definere vejene samt opbygningen af dem. Indtil dette tidspunkt var de danske veje bygget meget sporadisk, og belægningen bestod enten af sand, grus eller sten. Vejforordningen blev det første reelle forsøg på at styre udviklingen af de danske veje. Der blev defineret tre vejklasser, men vigtigst af alt betød Vejforordningen begyndelsen på et regelsæt for selve opbygningen af vejene. Belægningen af hovedlandevejene skulle bestå af en stampet underbund, et lag af sten og til sidst et lag af grus. Dette var dermed den første start på den belægning der findes i dag med en vejopbygning af flere lag. Opbygningen blev hurtigt ændret i midten af 1800-tallet, hvor "Macadam" belægningen blev den fortrukne. Denne belægning bestod af et tykt lag skærver. [Thagesen et al. 2000]

Vejbelægningen skulle igen blive ændret ved bilens indtog i Danmark i starten af 1900-tallet. Vejens brugere blev pludseligt ændret til bilister og den daværende Macadambelægning udviklede for meget støv, da gummihjulene hvirvlede støvpartikler mellem skærverne op. Desuden var Macadambelægningen for ujævn at køre på. 10 år før bilens indtog var der udlagt en enkelt strækning af asfalt i København og dette blev princippet for langt størstedelen af de resterende veje. Vejene kunne hurtigt tilpasses bilerne, ved at sprøjte et lag af tjære eller bitumen på de eksisterende vejoverflader og efterfølgende afdække med et finkornet stenmateriale, en såkaldt overfladebehandling. [Thagesen et al. 2000]

I 1930'erne begyndte Danmark at anvende asfaltbeton, der minder om den type belægning, der bruges i dag, hvor asfaltbetonen fremstilles ved opvarmning og maskinblanding af bitumen og stenmaterialer. [Thagesen et al. 2000]

Det var også omkring denne tid, at beton blev udlagt som vejbelægning, især på strækninger der var tungtbelastede. Belægningen bestod af en pladetykkelse mellem 15-18 cm for veje uden fast bærelag, og omkring 12 cm for veje med underliggende bærelag. Erfaringerne var gode og i slutningen af 1930'erne anvendtes beton ved alle egnede nyanlæg. Dette førte blandt andet til den længste strækning af betonveje i Danmark, på 72,7 km. [Puckman 1987]

Det var dog stadig overfladebehandlingen, der var den fortrukne og billigste metode, hvorfor 75 procent af landevejene i 1936 var overfladebehandlede, 15 procent belagt med asfaltbeton, beton eller brosten og de resterende 10 procent var skærve/grus veje. [Thagesen et al. 2000]

Betonbelægninger blev aldrig et reelt alternativ. Fra de første betonveje i 1923 til succesen sidst i 1930'erne gik det kun imod færre betonveje. Under 2. Verdenskrig blev der anlagt en række betonveje i Danmark af tyskerne, men der forefindes umiddelbart ingen informationer om disse.

I 1950'erne og 1960'erne blev der udført en række betonveje, efter en anden betonteknologi og udstøbningsteknik, der resulterede i en ringe holdbarhed. Dette var med til at sætte en stopper for betonveje i Danmark. [Puckman 1987]

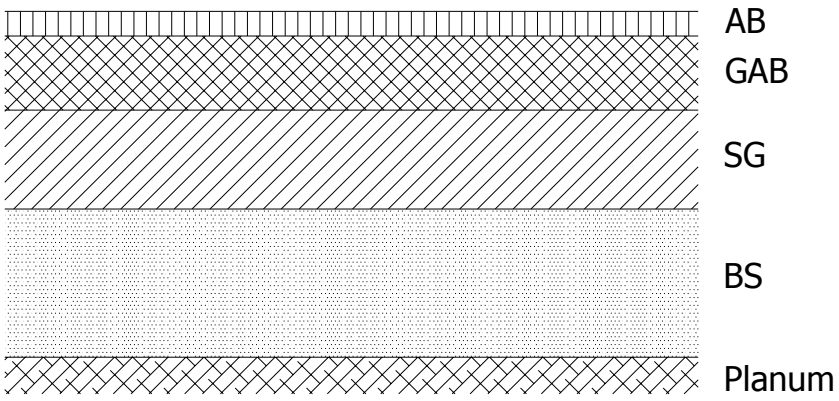
Efter 2. Verdenskrig skete der en stor udvikling i metoder og materialer og en ny type asfaltbelægning kom til landet, tæppebelægningen (Pulverasfalt). Denne blev anvendt på veje med mindre trafikbelastninger. Gennem tiderne blev der opdaget tøbrudsskader, der gjorde, at det blev fast praksis at udlægge et bundsikringslag af enten sand eller grus, for at sikre stabiliteten. Skærverne der før var blevet anvendt som bærelag, Macadam, blev erstattet med stabilt grus, da skærver blev en mangelvare. [Thagesen et al. 2000]

I 1960'erne fandtes der frem til en vejopbygning der i princippet anvendes i dag på langt de fleste veje. Først udlægges bundsikringslaget, efterfulgt af stabilt grus for til sidst at blive overlagt med grusasfaltbeton og asfaltbeton. [Thagesen et al. 2000]

I 1980'erne blev det atter forsøgt at udlægge beton som vejbelægning og i 1984 lykkedes det blandt andet at bygge en tilfredsstillende motorvej på Falster [Puckman 1987]. På trods af succesen var strækningen ikke med til at vende udviklingen. Senest blev der i 1994/95 anlagt to forsøgsstrækninger med betonveje, henholdsvis ved Hjørring og Holsted. Disse blev igen opført efter en ny metode, der især havde til formål at sænke omkostningerne, men gav varierende resultater[Sørensen 1995].

2.2. Nuværende situation i Danmark

På nuværende tidspunkt udlægges der kun asfalt som slidlag i Danmark og stadig efter princippet fra 1960'erne, jf. figur 2.1. Det kunne eksempelvis være en opbygning som følgende: Nederst udlægges budsikringslaget (BS), efterfulgt af stabilt grus (SG) og slutteligt grusasfaltbeton (GAB) og asfaltbeton (AB). [Thagesen et al. 2000]



Figur 2.1. Eksempel på en vejopbygning.

Selve opbygningen af vejen bliver designet til hvert enkelt projekt, hvormed tykkelsen af de forskellige lag i opbygningen kan variere en del. I og med at der ikke er et alternativ til asfalt, foregår der ikke en egentlig udvælgelse af belægningstyper, når et nyt projekt skal designes. Udvælgelsen, der finder sted, er blandt de forskellige typer af asfalt, der findes på markedet. Hver asfalttype har specielle egenskaber, der kan tilgodese det enkelte projekt. Sammenlignet med anlægsomkostninger, danner dette oftest udgangspunkt for det konkrete valg af belægning. En særlig egenskab kan være en asfalttype, der er støjreducerende, hvilket der også er et emne, der for tiden har stor fokus. I selve udvælgelsen indgår der også en del helhedsbetragtninger, hvor det blandt andet er ønskeligt at vælge en belægning med minimal vedligeholdelse. [Andersen 2008]

Motorring 3 i København, der er en betydningsfuld ringvejsforbindelse omkring byen, har gennem de senere år gennemgået en udbygning og restaurering. Det er et af de projekter, hvor Vejdirektoratet har undersøgt mulighederne for at vælge en belægning med særlig støjreducerende egenskaber. Sammenligning er lavet mellem en standardbelægning, en støjdæmpende belægning og en særlig støjdæmpende belægning. De enkelte belægninger er vurderet ud fra deres tekniske egenskaber sammenholdt med en samfundsøkonomisk analyse. [Vejdirektoratet 2004]

Det er dermed ikke hver gang, når der skal vælges belægning, at samfundsøkonomiske analyser bliver inddraget. Selve betragtningerne indgår, men ikke som direkte beregninger, mere som en baggrundsviden, der skal være med til at udvælge belægning. Ønsker Vejdirektoratet at få alternative belægninger på markedet, kan dette gøres ved funktionsudbud, hvor der opstilles konkrete krav til eksempelvis levetid og støj. Herefter udvælges den mest fordelagtige belægning, men belægningerne bliver samtidigt vurderet ud fra anlægsøkonomien. På nuværende tidspunkt er det anlægsøkonomien og støjreduceringer, der vægtes højest. Vejdirektoratet er endvidere meget åben overfor forslag fra entreprenørens side, hvis der kommer nye forslag fra denne front til vejens opbygning. [Andersen 2008]

Selvom der på nuværende tidspunkt ikke benyttes andet en asfalt, foregår der forsøg og undersøgelser af eventuelle fremtidige belægningstyper til anvendelse i Danmark, heriblandt cementstabiliseret bærelag, semifleksible – og elastiske belægninger.

2.2.1. Cementstabiliseret bærelag

Cementstabiliseret bærelag er ikke en ny metode i Danmark og anvendes blandt andet også i Sverige. Metoden går ud på at bærelaget tilsættes cement, for på den måde at opnå en større bæreevne. Bærelaget overlægges af almindelig asfalt, men på grund af den øgede bæreevne i selve bærelaget, er vejen mere modstandsdygtig overfor tunge belastninger. [Tækker 2006]

Dette er blandt andet kommet til udtryk ved Motorring 3. Motorring 3 er fra 1970'erne og som tidligere nævnt bliver motorvejen først restaureret i disse år. Opbygningen bestod af et cementstabiliseret bærelag og sammenlignet med andre motorveje, har bæreevnen og levetiden været imponerende. [Tækker 2006]

Dette har ført til, at der i 2008 stadig forskes i cementstabiliserede bærelag, hvor der blandt andet ved Herning udføres fuldskalademonstration af cementstabiliserede bærelag på en motortrafikvej. [Abrahamsen 2008]

2.2.2. Semifleksible belægninger

Semifleksible belægninger er et produkt, der kombinerer asfalt og betons gode egenskaber, så belægningen opnår en god fleksibilitet, men samtidig en høj bæreevne. Betons svaghed med fuger undgås, styrken opretholdes og belægningen vil stadig være i stand til at tilpasse sig temperatursvingninger. Belægningstypen har været kendt siden 1970'erne og er gennem tiderne hovedsagelig blevet anvendt i lufthavne, industrigulve og containerpladser. [Colas 2008]

I Danmark er belægningstypen kendt som blandt andet Densiphalt, Skanfloor, Confalt og Stabiflex, alt afhængig af hvilket firma, der producerer belægningen. I og med at det er en kombination af to meget anvendte materialer inden for belægninger, kan denne type meget vel være et forslag til en fremtidig belægning. Den største grund til, at det endnu kun er anvendt på mindre afgrænsede arealer, er sandsynligvis prisen og så udlægningsmetoden, der er langsommelig i forhold til beton og asfalt. [Colas 2008]

2.2.3. Elastiske belægninger

Elastiske belægninger har siden 1993 været på forsøgsbasis i Japan. Belægningen består hovedsagelig af genanvendte dæk, der laves til granulat og et bindemiddel, hvilket gør belægningen meget elastisk. [Meiarashi & Ohishi 2006]

En af belægningens store fordele er forventninger om en kraftig støjreduktion i forhold til et almindeligt slidlag af asfaltbeton. Forsøg har vist, at der kan ske en reduktion af støjen på omkring 7 - 9 dB. Yderligere er de elastiske belægninger sammenlignet med drænasfalt, der også betragtes som værende støjreducerende, meget støjreducerende. Her har forsøg vist at de elastiske belægninger vil have et støjniveau på 3 – 4 dB lavere end drænasfalt. [Meiarashi & Ohishi 2006]

De elastiske belægninger i Japan har haft et stort problem med hensyn til friktionen. Allerede syv måneder efter udlægningen af første forsøgsstrækning, måtte denne opbrydes, da der ikke var tilfredsstillende friktion, især i vådt føre. Belægningen blev herefter forbedret, og laboratorietests påpeger, at belægningen opretholder en tilfredsstillende friktion i mindst fem år. [Meiarashi & Ohishi 2006]

Det er ikke kun i Japan at elastiske belægninger har været på forsøgsbasis. I 2007 besluttede det svenske vejdirektorat, Vägverket, at udlægge tre teststrækninger af elastiske belægninger. Belægningen består her af at tilsætte gummigranulat til den sædvanlige asfaltblanding, hvor stentilslag dermed mindskes, og gummiindholdet bliver omkring to procent. På nuværende tidspunkt er der endnu ikke testdata tilgængelig. [Vägverket 2007]

2.3. Tendenser i udlandet

Sammenlignes udviklingen i Danmark med USA med hensyn til vejbelægninger, fremgår det tydeligt, at der i USA har været et andet behov for veje, end der har været i Danmark. Allerede i 1870'erne anvendtes overfladebelægning med asfalt, hvilket var inden bilernes indtog [WAPA 2002]. Det samme gælder beton som vejbelægning, hvor den første betonvej blev færdiggjort i 1891. Transportens udvikling har været væsentlig større i USA, jf. kapitel 1, og dette kan være grunden til, at der den dag i dag bruges to belægningstyper, asfalt og beton. Den tunge belastning af vejene er opstået hurtigere, og beton har været et reelt alternativ, hvorfor denne type belægning er kontinuerligt udviklet og forbedret, så den er konkurrencedygtig overfor asfalt. [ACPA 2008].

Situationen med at anlægge både asfalt- og betonveje er også gældende i andre europæiske lande, og dermed er der en stor forskel i forhold til Danmark, hvor der ikke siden 1984 er bygget egentlige betonveje, udover forsøgsstrækninger.

De danske erfaringer med betonveje fik et uheldigt udfald i 1950'erne, hvor enkelte veje allerede skulle overlægges med asfalt efter fire år [Thagesen et al. 2000]. Men i og med at øvrige lande i Europa og resten af verden stadig anvender beton som vejbelægning, beviser dette, at det er muligt at bygge betonveje, som kan konkurrere med asfalt både i økonomisk og teknisk sammenhæng. Nogle af de lande hvor begge materialer benyttes indenfor vejbelægning er som følger [US Department of Transportation 2007]:

- England.
- Belgien.
- Sverige.
- Tyskland.
- Sverige.
- Østrig.

Generelt er asfalt stadig det dominerende vejbelægningsmateriale i de ovenstående lande. Det anderledes er, at det varierer meget, hvor udbredt betonen er. I det følgende vil de enkelte af landene blive gennemgået med henblik på at beskrive omfanget og brugen af betonveje i de pågældende lande.

2.3.1. England

Udviklingen af betonveje i England tog for alvor fart, da den engelske regering i 1960'erne besluttede, at det var i nationens interesse, at sikre brugen af både asfalt og beton i vejbygningen. Indtil dette tidspunkt, var omfanget af betonveje i England meget begrænset. Beslutningen betød, at der igennem 1970'erne og 1980'erne blev anlagt et stort antal betonveje, helt op mod 15-20 procent af alle nyanlæg. Det var ikke et direkte påbud fra

regeringens side, at der skulle anlægges flere betonveje, men entreprenørerne blev pålagt at give tilbud på både asfalt og beton. [US Department of Transportation 2007]

Valget mellem beton eller asfalt blev ikke alene baseret på anlægsomkostninger, men ud fra en samlet samfundsøkonomisk vurdering, hvor spildtid ved vejarbejde i forbindelse med reparationer indgik. Taget i betragtning den meget tætte trafik på de engelske motorveje, blev en belægning med lang levetid økonomisk fordelagtig, hvilket gav betonvejene en stor fordel. [Justesen 1990]

I 1990'erne skete der imidlertid det, at støj blev et mere og mere omdiskuteret emne. Betonvejene støjede mere end asfaltvejene og efter pres fra befolkningen, blev det vedtaget at alle betonveje skulle overlægges med et tyndt lag asfalt, for derved at mindske støjudbredelsen. [US Department of Transportation 2007]

Senest er beslutningen ændret, så det nu er tilladeligt at udlægge betonveje. Betonvejene skal dog være typen "Whisper Concrete", hvor støjniveauet er konkurrencedygtigt med asfaltbelægninger. [Thøgersen 1997]

2.3.2. Belgien

Den første betonvej i Belgien blev bygget i 1925, og fungerede i drift uden større reparationer indtil år 2003, hvor et nyt lag beton blev udlagt. Vejen havde dermed en imponerende levetid på 78 år, hvilket måske er grunden til, at Belgien er det land i Europa, der har den største andel af betonveje, netop på grund af den store succes. Samlet set var 17 procent af alle veje i Belgien udført i beton i 2007 og i modsætning til andre europæiske lande anvendes beton på alle vejtyper, også på veje der ikke er kraftigt belastede af trafik. Der er dog en klar tendens til at udnytte betonvejenes evne til at modstå større belastninger, da 60 procent af landevejene i Belgien er udført i beton og 40 procent af motorvejene. [US Department of Transportation 2007]

Den store succes allerede fra den første betonvej i Belgien har blandt andet medført, at beton stadig er et materiale, der anvendes ofte. [US Department of Transportation 2007]

2.3.3. Sverige

I Sverige har beton eksisteret som vejbelægning siden før 2. Verdenskrig. Anvendelsen af beton forsatte til 1978, hvor der herefter kom en pause i brugen af beton indenfor vejbygning. Dette skyldtes, som i Danmark, at kvaliteten ikke var tilstrækkelig og at betonen måtte overlægges af asfalt. [Eriksson 2000]

Igennem tiderne har Sverige også oplevet stigende trafikmængder og at asfalten ikke kan modstå trafikbelastningen. Et andet problem i Sverige er pigdæk, der anvendes på bilerne i vinterperioderne. Pigdæk nedslider asfalten med meget større hastighed end almindelig dæk, fordi piggene opriver asfalten og hurtigt skaber sporkøring. Dette har gjort at asfaltvejene skal have udlagt et nyt slidlag før den forventede tid. Som følge af problemerne startede Sverige igen med at bygge betonveje i starten af 1990'erne [Granhed 1991]. Denne udvikling er forsat til 2007, hvor der senest er bygget en motorvej ved Uppsala, nord for Helsingborg. Specielt for

denne motorvej gælder det, at det er lykkedes svenske ingeniører, at sænke støjniveauet betragteligt, så støjniveauet er på højde med en støjsvag asfaltbelægning. [Mellgren 2007]

2.3.4. Tyskland

Cirka 25 procent af alle motorveje i Tyskland var i 2007 opbygget med betonbelægning. I 1950'erne fik næsten alle motorveje betonbelægning, hvorefter dette ændrede sig til omkring 30 procent. I 1980'erne fik betonvejene atter en renæssance, og bliver stadig anvendt i 2008. I modsætning til England, hvor belægningsvalget vedrørende asfalt eller beton vurderes ud fra en samfundsøkonomisk analyse, er det i Tyskland kun anlægsomkostningerne, der danner grundlaget. Da det er kendt at beton har en længere levetid og dermed mindre vedligeholdelse, men en højere anlægsomkostning, korrigeres der for dette, igennem en fast pris. Dette vil sige, at for hver kvadratmeter beton der udlægges, fratrækkes der 1,80 euro. Dette har været med til at gøre betonbelægningerne konkurrencedygtige i Tyskland. [US Department of Transportation 2007]

2.3.5. Østrig

Den første betonvej i Østrig blev anlagt tilbage i 1925, hvor beton blandt andet blev anvendt på den første motorvej. Østrig havde på tidspunktet ikke den nødvendige viden til at kunne anvende asfalt, hvilket betød, at beton var den eneste reelle belægningstype, til veje der var hårdtbelastede af trafik. Omkring 1980'erne blev dette ændret. Asfaltbelægningerne havde udviklet sig meget, og betonvejene havde gennem tiderne fået et dårligt image. De var blandt andet for støjende, for dyre og for svære at vedligeholde. Dette betød, at asfalt blev den fortrukne belægningstype på alle de østrigske veje. Tendensen varede dog ikke længe. Allerede i starten af 1990'erne blev beton atter introduceret, grundet nye teknikker, der gjorde betonbelægningerne mindre støjende. Samtidigt var prisen blevet fordelagtig, på grund af stigende asfaltpriser. [US Department of Transportation 2007]

I slutningen af 1990'erne indførte Østrig endvidere samfundsøkonomiske analyser, til valg af belægningstype, der blev obligatoriske på alle offentlige anlægsarbejder fra 2001. Dette tiltag har ligesom i England gjort betonbelægninger mere fordelagtige. Endvidere er det almindelig praksis, at beton anvendes på veje, hvor der kører mere end 8.000 tunge køretøjer om dagen. [US Department of Transportation 2007]

2.4. Sammenfatning

De første forsøg på at opbygge en vej, bestående af flere lag og efter et regelsæt, skete i Danmark i slutningen af 1700-tallet. Opbygningen blev løbende moderniseret, i takt med at brugerne af vejene har ændrede sig. Det var især efter bilens indtog, at det blev nødvendigt med en belægning, der var behagelig at køre på og der kunne modstå den store belastning fra bilerne, hvor belastningen af vejene indtil dette tidspunkt havde været begrænset. Asfaltbeton blev hurtigt valgt til det foretrukne materiale, og i 1960'erne blev der fundet frem til en opbygning, der i overordnede træk stadig anvendes i 2008.

Efter bilens indtog har det ikke kun været asfalt, der har været anvendt som belægning. I 1930'erne til 1960'erne blev beton anvendt som belægning, men på grund af uheldige udfald med en ringe holdbarhed, medførte dette et udlægningsstop for beton. I 2008 er det dermed

asfalt, der er den dominerende belægningstype på det danske marked. Der er andre vejbelægningstyper, der har Vejdirektoratets bevågenhed og som der forskes i, men endnu ikke belægninger, der har stor udbredelse.

I udlandet ser situationen anderledes ud. Asfalt er stadig den dominerende belægningstype, men i en lang række lande, er beton et alternativ til asfalt. Betonbelægninger anvendes hovedsagelig på veje der er hårdt trafikbelastede, og på trods af dette har betonbelægningerne en lang levetid. Den lange levetid gør det fordelagtigt at vælge beton frem for asfalt, hvis omkostningerne til vejen evalueres over en periode frem for kun anlægsomkostninger. Dette sker i Østrig og England hvor samfundsøkonomiske analyser anvendes som et beslutningsværktøj ved valg af belægningstype. I og med at der kun findes asfalt på det danske marked, sker der ikke en egentlig udvælgelse af belægningstyper, men blot en udvælgelse mellem forskellige typer af asfalt. Denne udvælgelse kan også ske på baggrund af en samfundsøkonomisk analyse.

3. Problemformulering

Danmark står i de følgende år over for en stor udfordring med at udbygge og vedligeholde det danske vejnet, så kvaliteten ikke forringes og vejinfrastrukturen ikke vil være en hæmsko for den udvikling, der forventes at ske. Senest har en rapport påpeget, at det danske statsvejnet er i en sådan tilstand, at 65 procent af vejene skal have et nyt slidlag indenfor de næste 3 år, jf. kapitel 1.

Den forventede udvikling vil medføre større trafikmængder. Helt konkret forventes trafikken at stige med 70 procent frem mod år 2030, i forhold til det nuværende niveau. Der forventes også en vækst i den tunge trafik, da især en øget globalisering øger transportefterspørgslen og samhandlen mellem de enkelte lande i Europa og resten af Verden. Udviklingen vil sætte det danske vejnet under endnu større pres, og især den tunge trafik bliver et stigende problem, da denne har størst betydning for nedbrydning af vejene.

I Danmark har traditionen været, siden bilens indtog, at vejene opbygges af asfalt. Denne belægning er fleksibel, hvilket er en god egenskab i forbindelse med skiftende temperaturer, men den er ikke så holdbar overfor større belastninger i forhold til en betonbelægning.

I udlandet har de oplevet samme udvikling og problemer. Her er den hurtige nedslidning sænket ved anvendelse af betonbelægninger på særligt udsatte veje med tung trafik. Betonbelægningerne har en større modstandskraft overfor den tunge belastning og dermed en længere levetid.

Betonbelægninger har tidligere været anvendt i Danmark, men en række strækninger med dårlige erfaringer har medført, at der på i 2008 ikke udlægges betonveje. Sidste betonvej bygget i Danmark var i 1996 og var blot som forsøgsstrækning.

Dette betyder, at der i Danmark på nuværende tidspunkt ikke findes et alternativ på grund af manglende erfaringer, som menes at kunne erstatte asfalt, hvormed der ikke sker en reel udvælgelse af belægningstype ved vejprojekter, asfalt vælges konsekvent.

Dette virker underligt, taget i betragtning at der er en række lande, der anvender betonbelægninger med stor succes. Blandt andet har det vist sig i England, at en betonbelægning er økonomisk fordelagtig, på trods af højere anlægsomkostninger, hvis belægningerne sammenlignes i en samfundsøkonomisk analyse over hele vejens levetid, hvor trafikanternes tid og gene indgår.

Såfremt de enkelte vejmyndigheder i Danmark benytter samfundsøkonomiske sammenligninger som i andre lande i udvælgelsesprocessen af et givent vejprojekt, er der en mulighed for, at andre materialer kan blive reelle alternativer til asfalts dominans som belægning på de danske veje. De samfundsøkonomiske sammenligninger er tidligere anvendt, men kun ved valg mellem forskellige typer af asfalt.

De forventede stigninger i trafikmængderne giver yderligere et argument for at undersøge, om der vil være et anvendeligt alternativ til asfalt i Danmark, så levetiderne af vejene øges i stedet for den mindskning, der reelt finder sted.

I det videre projekt kan det derfor være interessant at undersøge nærmere, om der er et reelt alternativ til asfalt, ud fra de tekniske egenskaber, der normalt er de egenskaber og værdier, som undersøges ved et vejanlæg.

Yderligere vil det være relevant at undersøge det økonomiske aspekt, eftersom der ikke udarbejdes samfundsøkonomiske analyser for belægningstypevalg i Danmark. Projektet og resultatet af dette kan dermed give et bud på, om det vil være fordelagtigt for Vejdirektoratet at anvende alternative belægninger og samfundsøkonomiske analyser ved belægningsvalg i fremtiden. Dette leder frem til følgende problemformulering:

"Findes der et alternativ til asfalt som vejbygningsmateriale i Danmark, der teknisk er ligeså funktionelt som asfalt, og hvilken indvirkning vil det have på valg af materiale at sammenligne belægningstyperne ud fra en samfundsøkonomisk synsvinkel frem for kun anlægsomkostninger?"

Denne problemformulering vil danne baggrund for den resterende del af nærværende rapport, hvor problemstillingen bliver yderligere analyseret og der konkluderes på baggrund af denne.

3.1. Afgrænsning

Fremgangsmåden til løsning på problemformuleringen afgrænses, da det vil blive for omfattende, at belyse og analysere alle faktorer og løsningsmetoder til problemstillingen.

Det vurderes, at de reelle alternativer til asfalt, som skal benyttes til en videre sammenligning i den resterende del rapporten, er beton og Densiphalt. Densiphalt vælges som repræsentant for de semifleksible belægninger, da det er muligt for projektgruppen at opnå størst mulig information omkring netop dette semifleksible materiale.

I den resterende del af rapporten arbejdes der med tre overordnede sektioner, der henholdsvis beskrives som erfaringsopsamling, en teknisk analyse og en samfundsøkonomisk analyse. Denne opdeling vælges grundet de forskellige sammenligningsmuligheder mellem asfalt, beton og Densiphalt.

Erfaringsopsamlingssektionen afgrænses til at omhandle beskrivelser af udførelsesprocesserne ved udlægning af beton og Densiphalt. Hertil beskrives de mulige typer og udlægninger af de to alternativer til asfalt. Asfalt analyseres ikke nærmere, da det er projektets formål at undersøge alternativer til asfalt og at der allerede findes tilstrækkelig viden vedrørende asfalt.

Den tekniske analyse afgrænses til at benytte de danske vejreglers krav til varmblandet asfalt som sammenligningsgrundlag. Det undersøges her, hvorvidt de fleste af disse krav også kan opfyldes for alternativerne til asfalt, eftersom de fleste af kravene benyttes som generelle krav. Da fremtidens veje bør være af samme kvalitet som nutidens, er dette også et incitament til at benytte et direkte teknisk sammenligningsgrundlag.

Endvidere foretages den tekniske sammenligning kun for slidlaget i vejbelægningen, da det vil være for omfattende at belyse hele vejbelægningen. Slidlaget vælges, da det er det lag, som trafikanterne er direkte i kontakt med og det lag i vejbelægningen, som der stilles flest krav til. Endvidere vil der indgå et stabilt gruslag i alle de tre forskellige belægninger, hvorfor det vælges kun at se på lagene over stabilgruslaget.

Den samfundsøkonomiske analyse indeholder en sammenligning på andre faktorer end de direkte sammenlignelige tekniske faktorer og anlægsprisen samt en følsomhedsanalyse. Hertil vurderes det, om en sådan analyse bør indgå i fremtidige belægningsvalg.

Gennem projektet vil det være nødvendigt med en række vurderinger/antagelser både med hensyn til den tekniske- og samfundsøkonomiske analyse, da det her ikke har været muligt at finde absolut viden omkring visse parametre. Endvidere afgrænses der i den samfundsøkonomiske analyse fra enkelte parametre, hvor den tilgængelige viden vurderes som værende utilstrækkelig.

ERFARINGSOPSAMLING

I sektionen bliver de hidtidige erfaringer med Densiphalt og beton beskrevet. Sektionen gennemgår indledningsvist de danske erfaringer med betonveje, for at kortlægge både gode og dårlige erfaringer. Dette suppleres med udenlandske erfaringer, hvor der især lægges vægt, på hvorledes det i udlandet er lykkedes at udlægge betonveje med lang levetid og uden de problemer, der har medført at beton ikke anses som et alternativ i Danmark. I sektionen vil gruppens forslag til, hvordan betonveje kan anvendes i fremtiden i Danmark, også blive præsenteret. Densiphalt har endnu ikke været anvendt som direkte vejbelægning, hvorfor erfaringerne er begrænset. Sektionen redegør for Densiphalts styrker og hvorledes en Densiphaltbelægning udlægges.

4. Betonbelægninger

I og med at den tekniske- og samfundsøkonomiske analyse i det videre projektforløb blandt andet tager udgangspunkt i betonbelægninger, som værende et alternativ til asfalt, vil det være nødvendigt at præcisere, hvordan betonen skal anvendes som belægning. For at fastsætte dette, tager dette kapitel udgangspunkt i de hidtidige danske erfaringer. Hensigten med dette er at kortlægge hvilke metoder, der har givet gode eller dårlige resultater.

De danske erfaringer bliver opfulgt af en præsentation omhandlende, hvordan beton anvendes som vejbelægning i udlandet. Afsnittet har til hensigt at kortlægge de metoder, der ligger til baggrund for opbygning og anlæggelse af en betonvej.

De udenlandske erfaringer sammenholdes slutteligt med de danske erfaringer, for til sidst at give et kvalificeret bud på, hvordan betonveje kan anvendes i Danmark.

4.1. Erfaringer med betonveje i Danmark

Som det fremgår af afsnit 2.1, er der tidligere i Danmark bygget betonveje, men med varierende resultater. Dette har medført, at asfaltbelægninger dominerer det danske marked. De dårlige resultater virker umiddelbart underlige, taget i betragtning, at betonbelægninger stadig er et alternativ til asfalt i en lang række af de europæiske lande. Dette kapitel vil derfor beskrive de metoder, der er anvendt til at lave betonveje i Danmark. Dette har til formål at kortlægge problemerne, der er opstået og på et eller andet plan har medført, at der ikke laves betonveje i Danmark.

Afsnittet er opbygget, således det kun er de perioder, hvor der er sket en ændring af metoden til at bygge betoneveje, der bliver beskrevet. Årrækken mellem perioderne er dermed ikke udtryk for, at der ikke er sket udlægning af betonveje.

4.1.1. Betonveje i 1930'erne

De første to betonveje blev anlagt i Danmark i 1923, men det var først i 1934 der for alvor kom gang i anlæggelsen af betonveje. I perioden 1934 – 1939 blev der i gennemsnit udlagt 46 km betonvej pr. år og overalt, hvor det var passende, blev beton valgt som belægningsmateriale. Til størstedelen af vejene blev der anvendt stampebeton samt faste sideforme. Betonen blev udført som to forskellige lag, hvor der i det øverste lag blev anvendt granitskærver og bakkesand og der i det nederste lag blev anvendt billigere grusgravsmaterialer. Selve tykkelsen af belægningen var baseret ud fra de tyske standarder, hvor der anvendtes en tykkelse på 20 - 22 cm. Grundet et maksimalt akseltryk i Danmark på seks tons og ubegrænset i Tyskland, blev det valgt at reducere tykkelsen af betonbelægningen til 12 – 18 cm, alt afhængig af underbunden. Betonbelægningerne blev som oftest udført med en let armering og tværfugerne blev dannet ved at nedpresse et fugejern, hvor fugeafstanden typisk var mellem 10 - 20 m. [Puckmann 1987]

En af de betonstrækninger, der er udført i denne periode og med stampebeton, er Lufthavnsvej i Aalborg. Strækningen er bygget i 1938 og har en del vildrevner. Især fugerne har en del skader, men indtil videre har den haft en imponerende levetid på 70 år, jf. figur 4.1, [Jensen 2001].

Figur 4.1. Lufthavnsvej i Aalborg. Betonvejen er udført i 1938 og af stampebeton.

Komprimeringen skete ved en stampning af betonen, hvor betonen først blev afrettet, herefter stampet og til sidst efterslettet med en stor skabelon tilpasset vejens profil. Denne metode blev efterhånden ændret, da den første overfladekomprimeringsmaskine i Danmark blev anvendt i 1937, hvorefter denne metode efterhånden vandt indpas. [Puckmann 1987]

Efterhånden blev to-lagsbetonen med armering erstattet af et enkelt lag beton uden armering, da denne metode var 2,5 gange hurtigere at udføre. Sammenholdt med overfladevibreringen var det hermed muligt at udlægge og vibrere betonen i en enkelt passage, hvilket øgede kapaciteten og forbedrede økonomien. Ændringerne fik dog store konsekvenser. For at sikre en tilstrækkelig vibrering af betonen helt til bunden, blev den tidligere blanding af betonen med et lavt vand/cementforhold ændret ved at tilsætte mere vand og sand uden at tilsætte mere cement, men også vibratorens slagkraft blev forøget. Kombinationen medførte en overvibrering af betonens toplag og dermed blev toplaget et porøst mørtellag med et ringe stenindhold. [Puckmann 1987]

De første betonveje inden ændringen af betonsammensætningen, da der brugtes stampebeton, havde en god holdbarhed, hvor flere af vejene holdte i 50 år uden større vedligeholdelsesomkostninger. Endda på trods af, at de ikke var designet til et højt akseltryk og den stigende tunge trafik. Pladerne var for tynde og blev oftest udlagt på et dårligt underlag, i enkelte tilfælde på råjord, hvilket var til skade for holdbarheden. Fugeafstanden på 10 - 20 m var for stor og jævnheden af overfladen var efter nutidens målestok ikke tilstrækkelig. Den ændrede betonsammensætning forværrede situationen, hvor toplaget af betonen blev for porøst og dermed hurtigt mistede sine egenskaber. [Puckmann 1987]

4.1.2. Betonveje 1954-1965

Fejlene med for lille pladetykkelse og for stor fugeafstand blev i denne periode rettet. Selve tykkelsen af betonlaget blevet øget til omkring 20 cm og var dermed meget lig de tyske retningslinier. Yderligere blev fugeafstanden formindsket betydeligt til omkring 5 - 6 m. Selve underlaget til betonen var stadig ikke godt, men det var nu muligt at opnå en større jævnhed af betonoverfladen. [Puckmann 1987]

Selve betonen blev stadig udlagt i et lag som sidst i 1930'erne, jf. afsnit 4.1.1, og stampemaskinerne var næsten helt afløst af overfladevibreringsmaskinerne. Betonen blev udlagt med en selvkørende maskine, der modtog og fordelte betonen, herefter en vibreringsmaskine og til sidst en glittemaskine til afretning. Selve vejens bredde var stadig styret af forme, hvorpå alt materiel nu kørte. I og med at det stadig var ved hjælp af en overfladevibrering, at betonen blev komprimeret, kunne der stadig ske en separation af toplaget, hvormed toplaget blev porøst. [Puckmann 1987]

Yderligere var der problemer med tilslagsmaterialerne. Det anvendte sand havde et højt indhold af flint og kalk, hvilket bevirkede, at overfladen hurtigt blev poleret og dermed glat. Desuden gav den porøse beton skadelige alkalikiselreaktioner, der især blev forstærket ved anvendelse af tøsalte sidst i perioden. Alkalikiselreaktioner er en kemisk ekspanderende reaktion mellem alkalier fra cementen og/eller omgivelserne og tilslaget. [Puckmann 1987]

Denne periode har derfor ikke medført de store positive erfaringer. Bærelaget var stadig utilstrækkeligt og især polering og porøsiteten af toplaget medførte store problemer.

4.1.3. Betonveje i 1967-1969

I starten af perioden blev slipform paver teknikken indført, der betød, at betonvejene kunne støbes uden brug af forme. Samtidig med at betonen blev udlagt, blev den vibreret, hvilket gjorde, at overfladevibreringen ikke længere var nødvendig. Separationen af toplaget blev herved undgået. Slipform paver teknikken medførte også, at det nu var muligt at opnå en tilfredsstillende overfladejævnhed, ligesom der konsekvent blev brugt gode bærelag, så som cementstabiliseret sand. Betonsammensætningen var stadig ikke optimal, da den samme sammensætning med et højt vand/cementindhold blev anvendt, ligesom forrige periode, jf. afsnit 4.1.2. Yderligere blev der stadig anvendt alkalireaktivt sand og de store mængder tøsalt kunne efter få år medføre, at det øverste lag blev porøst og at der var problemer med friktionen. Som følge af problemerne, var levetiden af de udlagte betonbelægninger meget kort, helt ned til fire år, jf. tabel 4.1. [Puckmann 1987]

Tabel 4.1. Oversigt over betonveje i perioden. [Puckmann 1987]

Strækning	Anlagt	Problemer	Ændret
Holbækmotorvejen	1967	Afskalninger og nedsat friktion	1973, belagt med AB og ABS.
Motorvejen (M3)	1968	Grove revner, afskalninger og nedsat friktion	1972, belagt med AB. 1983, belægning fjernet pga. nedbrydning.
Sydmotorvejen (M30)	1969	Overfladepolering og nedsat friktion	1973, belagt med AB
Køgebugtmotorvejen (M10)	1969	Overfladepolering og nedsat friktion	1975, belagt med AB
Holbækmotorvejen (M11)	1969	Revner, afskalning og nedsat friktion	1973, bortfræsning af øverst lag. 1978, bortfræsning af øverste lag, belagt med GAB. 1980, udlægning af ny beton. 1985, hele strækningen belagt med asfalt.

Alt i alt en række betonveje der ikke havde noget positivt udfald, hvilket resulterede i en pause i byggeriet af betonveje på det overordnede vejnet i syv år.

4.1.4. Betonveje 1975 – 1984

I 1975 nedsatte Vejdirektoratet en arbejdsgruppe, der havde til formål, at opsamle tidligere erfaringer fra betonveje og benytte denne viden til en forsøgsstrækning på motorvejen mellem Ølby og Ringsted [Thøgersen 1997]. Dette betød, at betonsammensætningen fra starten af 1930'erne endelig fik en renæssance igen. Det lave vand/cementforhold, jf. afsnit 4.1.1, blev atter anvendt og der blev ikke brugt alkalireaktive tilslagsmaterialer i betonen. [Puckman 1987]

Udover forsøgsstrækningen blev det i 1984 besluttet at anlægge en betonvej mellem Gundslev – Ønslev på Falster, der både blev bygget ud fra erfaringer med forsøgsstrækningen Ølby – Ringsted men også tidligere tillærte erfaringer. [Quist & Kirk 1995]

Begge strækninger har haft en lang levetid, og i det følgende bliver tilstanden af de to veje præsenteret.

Ringsted – Ølby

Strækningen blev anlagt som forsøgsstrækning i 1976 og var opdelt i ni delstrækninger. Strækningen skulle fokusere på betonbelægningens overfladeegenskaber og betonkvalitet, hvilket medførte to forskellige overfladestrukturer og seks forskellige betontyper. Det lave vand/cementforhold fra 1930'erne blev bibeholdt, mens der blev brugt varierende sand/cementtyper. [Thøgersen 1997]

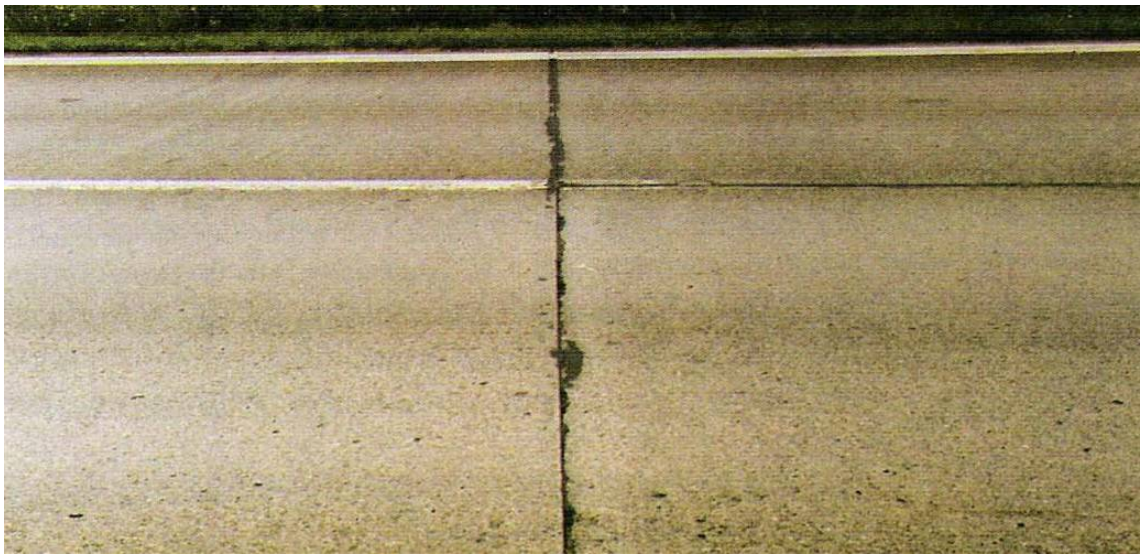
Forsøgsstrækningen blev opbygget af 20 cm betonbelægning, udført med en slipform paver. For hver 5 m blev der anlagt tværfuger, samt en længdefuge i midten af vejen. Fugerne blev frembragt ved at skære en cirka 5 cm dyb rille i betonen, der efterfølgende blev forseglet med fugemasse. Selve overfladestrukturen blev udført efter to pricipper:

- Tværriller.
- Frilagte skærver.

Tværrillerne blev udført ved hjælp af en speciel maskine, der vibrerede en profileret kunststofdug ned i betonen, jf. figur 4.2.

Figur 4.2. Tværriller i betonbelægning. [Thøgersen 1997]

Frilægningen af skærver skete ved at tilføje den nyudlagte betonbelægning en retarderende sukkeropløsning. Opløsningen havde til formål, at hindre hærdning i det øverste lag, hvorefter det øverste lag kunne afkostes, hvormed den ønskede overfladestruktur opstod, jf. figur 4.3. [Thøgersen 1997]



Figur 4.3. Frilægning af skærver på betonoverfladen. [Thøgersen 1997]

I forbindelsen med udlæggelsen opstod der en del små problemer, der kunne få betydning for belægningens overfladeegenskaber:

- Blandeanlæggets kapacitet var for lille, hvilket medførte ufrivillige stop i støbningen.
- Stop i udlægning på grund af cementmangel på blandeanlægget.
- Problemer med styring af paveren.
- Nedsynkning af paver, på grund af utilstrækkelig bredde af bærelag.

Yderligere nedbrød skæremaskinen, hvilket medførte at tværrevnerne på en delstrækning blev forsinket. Resultatet af dette var straks tydelig, da det resulterede i en del vildrevner. Frilægningen af skærver medførte en del forsøg, medhensyn til tidspunktet af afkostningen, på grund af de varierende betontyper. Slutteligt lykkedes det at opnå en tilfredsstillende overfladestruktur. [Thøgersen 1997]

Gennem tiderne har der været udført enkelte reparationer og senest i 1995 blev hele strækningen totalrenoveret ved udlæggelsen af et nyt asfaltslidlag. Strækningen er løbende blevet vurderet ud fra friktion, jævnhed og støj. Ønskes yderligere informationer om disse parametre henvises til kapitel 6.

Friktionskoefficienten på strækningen med frilagte skærver var igennem de første otte år omkring 0,8, hvorefter der indtil år 1996 er sket et fald til mellem 0,5 – 0,6. For den rillede overflade har det været gældende at friktionskoefficienten de første 14 år var på omkring 0,6. Herefter er denne også faldet til omkring 0,5. [Thøgersen 1997]

Med hensyn til jævnheden er denne blevet målt med Vejdirektoratets bumpmeter. Jævnheden har været nogenlunde konstant i perioden fra 1976 – 1992, på omkring 225 cm/km. Generelt har den rillet overflade haft den bedste jævnhed, men der er ikke observeret den store forskel. Jævnheden har gennem hele perioden været på kanten af det anbefalede, hvor kravet er mindre 240 cm/km. Endvidere er der opstået problemer med pladespring. Pladespringene opstår ved fugeoverkørsel, hvor bærelaget bliver eroderet, på grund af nedsivning af vand i fugerne. En såkaldt pumpning. Fugerne har været forseglet, men efterhånden bliver det muligt for vand at trænge igennem til bærelaget, hvorefter problemet opstår. På forsøgstrækningen blev der på et begrænset område anvendt dyvler i tværfugerne og målinger har vist, at samlingerne med dyvler har medført mindre pladespring, end ved samlinger uden dyvler. [Thøgersen 1997]

I december 1977 blev støjniveauet af de to forskellige overflader målt og sammenholdt med asfalt. Undersøgelsen viste, at den rillede overflade skabte mere støj en den frilagte overflade, helt op til 8 dB mere. Den frilagte overflades niveau var derimod på højde med asfalt (71 dB), en forskel på blot 1 - 3 dB. [Thøgersen 1997]

Asfaltreferencen der blev anvendt som sammenligningsgrundlag, var den efterfølgende strækning, hvor der var udlagt asfaltbeton (AB). [Ingerslev 1978]

Gundslev – Ønslev, Falster

De tidligere erfaringer med betonveje og især erfaringerne fra forsøgsstrækningen Ølby – Ringsted blev anvendt, da det i starten af 1980'erne blev besluttet at lave en betonmotorvej på Falster, der var færdiglavet i 1984. Strækningen blev som strækningen mellem Ølby – Ringsted udlagt med en tysk slipform paver, der blev ført af et rutineret tysk mandskab. Betonvejen blev støbt med en tykkelse på 20 cm og for hver 5 m blev der lavet tværfuger, der ikke blev

forseglet. Betonsammensætningen havde stadig det lave vand/cementforhold, jf. 4.1.1, og bærelaget bestod af cementstabiliseret sand i det sydgående spor og cement stabiliseret grus i det nordgående. [Thøgersen 2006]

Erfaringer med dyvler i fugerne fra Ølby – Ringsted strækningen, jf. afsnit 4.1.4, blev udnyttet i det tunge spor, hvor der blev isat dyvler med en indbyrdes afstand på 30 cm. Dette blev dermed den eneste strækning i Danmark hvor dyvler konsekvent blev anvendt. [Puckman 1987]

Overfladestrukturen blev dannet ved en frilægning af skærverne. Metoden, der blev anvendt, bestod i at udsprøjte en retarder, sukkeropløsning, hvorefter betonbelægningen blev tildækket af plastik. Den efterfølgende dag blev plastikken fjernet og ved hjælp af vandspuling, var det muligt at frilægge skærverne. [Quist & Kirk 1995]

Allerede indenfor det første leveår, blev der konstateret en del revner i betonbelægningen. Undersøgelser viste, at bærelaget ikke var tilstrækkeligt afvandet, hvilket gav et ustabilt bærelag. Dette blev udbedret ved at udlægge nye afvandingsdræn. Efterfølgende blev nødsporet asfalteret, dette bestod tidligere af stabilt grus, og fugerne blev forseglet. Begge metoder havde til formål at forhindre vand i vejkassen. Dette stoppede ikke fuldstændig revnedannelsen og især indenfor de seneste år er der dannet flere revner, jf. figur 4.4. [Thøgersen 2006]

Figur 4.4. Revnedannelser i betonbelægningen. [Thøgersen 2006]

På trods af at nødsporet blev asfalteret og der blev udlagt nye dræn, har der stadig været problemer med et vandmættet bærelag, jf. figur 4.5.

Figur 4.5. Vandmættet bærelag. [Thøgersen 2006]

I 2002 gennemgik strækningen en mindre reparation og i 2005 blev 21 plader erstattet med asfalt. Ud over dette har det ikke været nødvendigt med større omfattende reparationer i perioden, men strækningen står i den nærmeste fremtid over for en renovering. [Thøgersen 2006]

Strækningen er løbende blevet evalueret, hvor friktionskoefficienten og jævnheden er bestemt. I perioden fra 1987 – 1994 har friktionskoefficienten varieret mellem 0,7 og 0,8. Yderligere viste bumpmetertallet at dette har varieret fra 100 - 170 cm/km i den samme periode. Tallet var størst umiddelbart efter anlægningen, hvorefter der kontinuert er sket en forbedring af jævnheden. Dette kan virke mærkeligt, da der igennem tiderne er opstået flere og flere revner. [Thøgersen 2006]

4.1.5. Betonveje i 1990'erne

I perioden af 1988 - 1992 blev der indgået et samarbejde mellem danske og engelske virksomheder, hvilket resulterede i en ny belægningstype kaldet ECOPAVE (ECOnomic PAVement). Projektet skulle udvikle en holdbar og økonomisk kompositbelægning, bestående af et betonbærelag og et slidlag af asfalt. Samtidigt skulle begge materialer kunne udlægges med en asfaltudlægger, for at gøre udlægningen billigere og dermed mere konkurrencedygtig overfor asfalt. [Quist & Kirk 1995]

Den grundlæggende idé bag projektet var, at betonbærelaget skulle give bedre understøtning af asfaltlaget, så levetiden dermed ville blive bedre. En af de udfordrende ting var, at undgå revnerne i betonbærelaget skulle reflektere op i asfaltlaget, hvilket medførte store krav til slidlaget. I 1990 udførtes en prøvestrækning ved Ringsted, der viste, at udlægningen gav et tilfredsstillende resultat. [Quist & Kirk 1995]

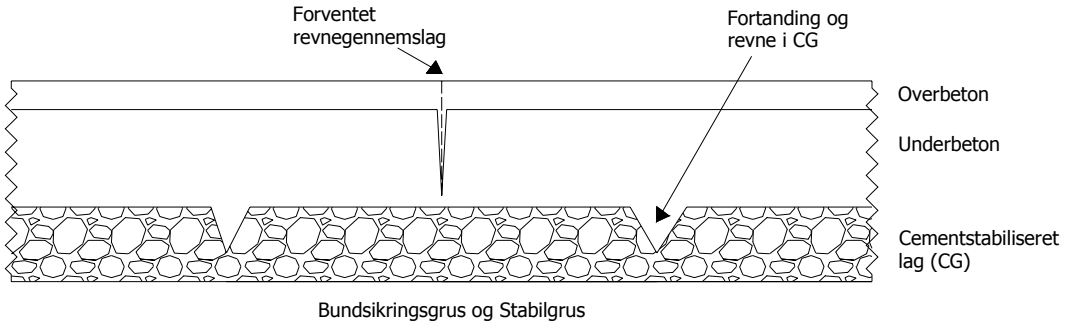
Da projektet var afsluttet og der var gennemført fuldskalaforsøg, forsatte de engelske virksomheder med at udlægge ECOPAVE, hvorimod Danmark fokuserede på, at gøre belægningen endnu billigere. Dette medførte, at der blev lavet to strækninger, en ved Holsted og en ved Hjørring, hvor asfaltslidlaget blev udeladt og der derfor kun blev udlagt

betonbelægning. Dette var muligt, da udlægningsteknikken af beton efterhånden var forbedret så meget, at overfladeegenskaberne kunne etableres i selve betonbelægningen. [Henrichsen 1995]

Motorvej ved Holsted

I 1994 påbegyndtes udlægningen af betonvejen på en motorvejsstrækning ved Holsted. Selve opbygningen af vejen bestod af 13 cm cementstabiliseret grus og 22 cm betonbelægning. Betonbelægningen skulle udføres af to omgange, hvor det sidste lag var 5 cm tykt. Begge betonbelægninger blev udlagt med slipform paver, hvilket ikke var princippet med ECOPAVE.

Ideen bag ECOPAVE var, at betonen selv skulle slå tværrevner med en indbyrdes afstand på 1,5 m. Den korte afstand skulle sikre meget små bevægelser over revnerne, hvormed at det alene var de ru revneflader, der skulle sikre lastoverføring i samlingerne. Ved denne metode kunne de kostbare dyvler undgås. Tværrevnerne skulle opstå ved lave svækkelser i det cementstabiliseret bærelag, i form af fortandinger, der vil holde betonbelægingen på plads. Yderligere skulle der i underbetonen laves en revne pr. 1,5 m, ved hjælp af nedpresning af et sværd, hvilket var muligt, da betonen blev udlagt i to lag. Fortandingerne i det cementstabiliserede lag skulle laves hver 1,5 m og revnen gennem overbetonen skulle så ske der imellem, jf. figur 4.6. [Henrichsen 1995]



Figur 4.6. Forventet revnegennemslag i betonbelægningen.

Efter udlægningen af overbetonen påførtes en retarder og skærverne blev frilagte dagen efter ved afkostning. [Henrichsen 1995]

Det blev hurtigt klart, at den forventede revnedannelse udeblev. De indbyrdes revner havde en afstand mellem 30 – 40 m i overbetonen, hvilket var langt fra det forventede på 1,5 m. Der kan være flere årsager til at revnedannelsen ikke skete, men en af de væsentligste var, ifølge entreprenøren, manglede temperatursvingninger. Betonen havde en konstant temperatur på 7 °C de første mange dage, hvilket betød at det forventede indre arbejde i betonen udeblev. [Henrichsen 1995]

Da revnedannelsen var hele konceptet bag ECOPAVE, blev det besluttet at udføre revner ved savning og en efterfølgende ramning af revnen, så denne ville forløbe hele vejen igennem betonlaget. [Henrichsen 1995]

Overordnet set lykkedes det at etablere betonvejen og den blev betragtet som en succes bortset fra revnedannelsen, der medførte ekstra økonomiske udgifter. Igennem årene er strækningen dog blevet renoveret, jf. figur 4.7, hvilket er tidligt i forløbet.

Figur 4.7. Betonmotorvej ved Holsted, reparationer af fuger fremgår.

Reparationerne er udført i 2007 og har haft til formål at udbedre tre typer af skader:

- Afskalninger ved fuger.
- Vildrevner.
- Forsegling af fuger.

Reparationerne blev udført med tre forskellige produkter, bitumenbaserede, cementbaserede og epoxybaserede, for at undersøge hvilket var bedst egnet. Cementbaserede viste sig at have ringe holdbarhed, det bitumenbaserede gav varierende resultater, hvormed det epoxybaserede fungerede bedst. [Jensen 2008a]

Forbindelsesvej ved Hjørring

I forbindelse med motorvejsbyggeriet i Nordjylland, blev det besluttet, at der i Hjørring skulle etableres endnu en betonvej, udført efter ECOPAVE princippet. Strækningen på 1,7 km var en fremtidig forbindelsesvej til motorvejen og dermed et nyanlæg. [Bager et al. 1995]

Strækningen blev udført i 1995 af Aalborg Portland, der i samarbejde med Højgaard & Schultz, havde modificeret en asfaltudlægger, så denne kunne anvendes til udlægning af beton, ligesom ECOPAVE princippet foreskrev. Belægningen bestod af 12 cm tykt cementstabiliseret lag hvorpå et 20 cm tykt lag af beton blev udlagt i en bredde af 8 m. Tværrevnerne i belægningen, blev udført med 1,5 meters mellemrum. [Bager et al. 1995]

Med hensyn til tværrevnerne blev ideen med de selvdannede revner forkastet og der blev anvendt samme teknik som ved Holsted, hvor der først blev savet en revne med efterfølgende ramning. Tværrevnerne fremgår af figur 4.8. [Bager et al. 1995]

Figur 4.8. Tværrevner med 1,5 meters interval.

Længdefugen blev dannet ved savning og for at sammenholde de to vejbaner blev der indstøbt to armeringsjern i hver plade. [Bager et al. 1995]

Overfladeegenskaberne blev dannet ved en frilægning af skærver, ved hjælp af påføring af retarder umiddelbart efter udlægning, hvorefter belægningen blev vandspulet den efterfølgende dag. Frilægningen af skærver medførte den ønskede overfladestruktur, jf. figur 4.9. [Bager et al. 1995]

Figur 4.9. Overfladestruktur på ECOPAVE belægning.

Strækningen påviste, at det var muligt at anvende de nye teknikker og samtidig opnå en anvendelig betonvej. Det eneste problem, der opstod, var med hensyn til frilægningen af skærver, der mislykkedes enkelte steder på strækningen. [Bager et al. 1995]

Efter inspektion af strækningen i 2008, udført af gruppen, har det vist sig at det endnu ikke har været nødvendigt med reparationer, på trods af alderen på 13 år.

4.2. Betonveje i udlandet

Grundet de meget varierende resultater med betonveje i Danmark, hvilket har medført at de ikke længere anlægges, jf. afsnit 4.1, er det interessant at undersøge erfaringerne fra udlandet, da betonveje i udlandet stadig er et alternativ til asfalt, jf. afsnit 2.3. Et studium af hvilke typer af betonveje der bygges i udlandet og hvilke metoder der anvendes, kan give indblik i, hvorfor de stadig anlægges.

De betonbelægninger, der bliver anvendt til vejbygning i udlandet, kan overordnet inddeles i tre typer. Indenfor hver type kan selve opbygningen af betonvejen variere, men overordnet set bliver de opbygget efter følgende principper [CAC 2008]:

- Uarmerede betonbelægninger med tværfuger.
- Armerede betonbelægninger med tværfuger.
- Kontinuert armerede betonbelægninger.

Den individuelle forskel mellem de tre typer er måden, hvorpå belægningen modstår de brud der sker i beton ved hærdning. De forskellige typer bliver anvendt verden over og i det følgende vil tre specifikke lande, der hver anvender en af de tre typer af betonbelægninger, blive gennemgået.

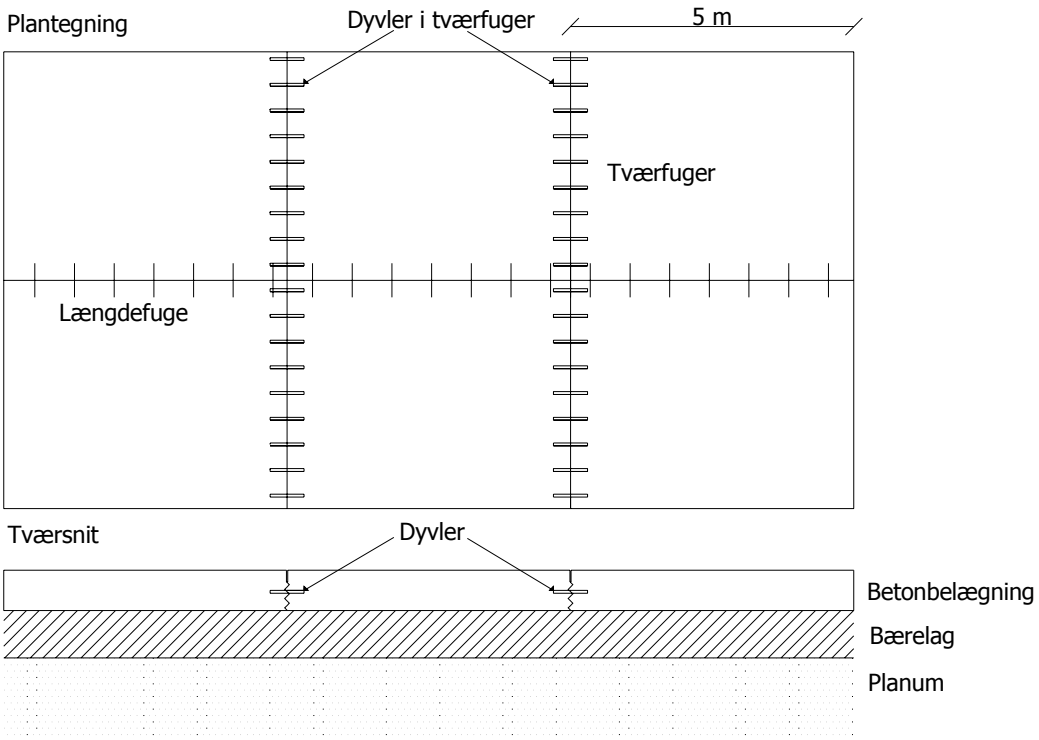
4.2.1. Uarmerede betonbelægninger med tværfuger i USA

I USA anvendes alle tre former for betonbelægninger, men de uarmerede betonbelægninger med tværfuger har langt den største udbredelse, da denne type anlægges i 43 ud af 50 stater. [University of Washington 2005]

De overordnede regler og retningslinier bliver i USA defineret af AASHTO (American Association of State Highway Officials) og ud fra disse udarbejder hver stat, eventuelt i samarbejde med andre stater, deres egne retningslinier indenfor vejbygning og dermed også for betonbelægninger. I og med at retningslinierne er udarbejdet ud fra det samme, vælges det at se nærmere på én stat, Wisconsin.

Wisconsin Department of Transportation har som standard valgt at anvende uarmerede betonbelægninger med tværfuger på deres motorvejsnet, i de tilfælde hvor der skal udlægges beton. Bærelaget består som standard af 15 cm stabilt grus og hvor underbunden er særlig ustabil eller hvor en ældre betonvej er blevet fjernet, udlægges knust beton (den tidligere betonvej) som et ekstra stabilitetsgivende lag, mellem planum og bærelaget. [WisDOT 2008a]

Som typenavnet antyder, er der ikke armering i denne type af betonveje. Princippet bygger på at etablere en række tværfuger, dermed kontrollerede brud, jf. figur 4.10, der skal modstå de sammentrækninger og udvidelser, der sker i betonen ved temperatursvingninger. Samme princip er benyttet ved motorvejen på Falster, jf. afsnit 4.1.5.



Figur 4.10. Princip for uarmerede betonbelægninger med dyvler i tværfugerne.

I Wisconsin etableres tværfugerne med en individuel afstand på 5 m, hvor betonbelægningen er tykkere end 20 cm. I tilfælde af en tyndere betonbelægning skal afstanden mellem tværfugerne mindskes. Ved tværfugerne sikres der imod vertikale bevægelser, ved at indsætte dyvler i hver samling. Dyvler placeres inden udlægningen af betonbelægningen og definerer dermed tværfugens placering, jf. figur 4.11. [WisDOT 2008a]

Figur 4.11. Placering af dyvler og tværfuger.

Hele formålet med tværfugerne er, at det skal være muligt for betonen at udvide/sammentrække sig ved temperatursvingninger. Dette opnås ved at anvende dyvler uden struktur, indsmurt i en olie, hvormed det bliver muligt for betonen at bevæge sig horisontalt, men stadig fastlåst vertikalt. Olien forbygger endvidere også rust af dyvlerne. [WisDOT 2008]

En anden variation af denne type betonbelægning er uden dyvler i tværfugerne. Ved denne type sker lastoverførslen fra den ene plade til den anden ved hjælp af den sammenholdning der er i selve bruddet. Denne type er ikke anvendelig i tilfælde af betydelige trafikmængder med en stor lastbilprocent. [CAC 2008]

Ud over tværfuger, etableres der også længdefuger. Disse etableres mellem hver vognbane og giver dermed mulighed for at sammenbinde op til flere vognbaner til én flade. I og med at længdefugerne er parallelle med kørselsretningen, udsættes disse fuger ikke for samme belastning som tværfugerne og selve længdefugen bliver derfor armeret med almindelig armeringsjern, jf. figur 4.12. [WisDOT 2008]

Figur 4.12. Armering i længdefugen.

Figur 4.13. Etablering af tværfuger. [Hultquist & Carlsson 2002a]

Både længde- og tværfugerne bliver etableret ved at save en rille i den færdigstøbte beton, jf. figur 4.13. Længdefugen skal saves indenfor 36 timer efter udlægning, hvorimod tværfugerne skal etableres samme dag som udlægningen. I løbet af kort tid, slår rillen helt igennem på grund af hærdning og betonbelægningen er dermed opdelt i en række plader af 5 m længde. I Wisconsin er det almindelig praksis at disse fuger ikke forsegles. [WisDOT 2008]

Udlægningen af betonen kan foregå efter to principper, slipform pavement eller ved hjælp af faste forme. Den mest anvendte metode er slipform pavement, hvor betonen udlægges løbende, jf. figur 4.14. [WisDOT 2008]

Figur 4.14. Slipform paver.

Figur 4.15. Etablering af overfladestruktur.

Friktionen af overfladen sikres ved at trække en fiberdug i samme retning som kørselsretningen, umiddelbart efter udlægning af betonen. Dette giver betonen en ru overflade, jf. figur 4.15. [WisDOT 2008]

Endeligt beskyttes overfladen mod en for hurtig udtørring. Dette kan i Wisconsin gøres efter to metoder, hvor betonbelægningen enten overdækkes af plastik eller der spredes en forseglende væske ud over betonbelægningen. Begge dele skal udføres umiddelbart efter udlægning.

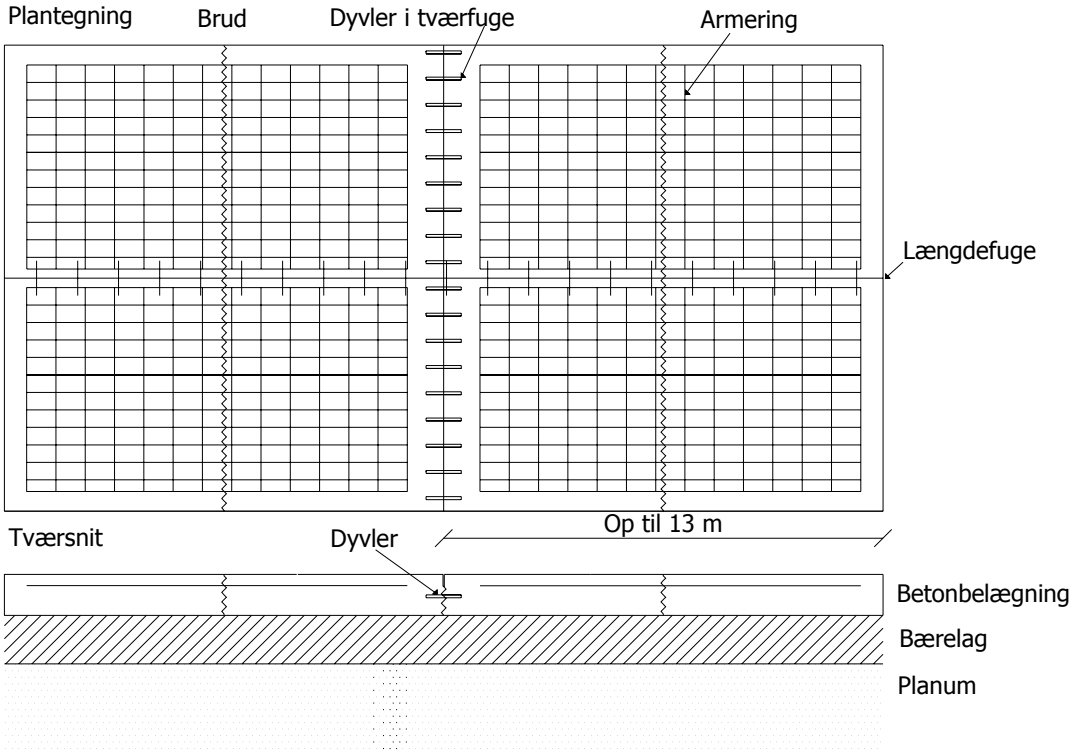
I tilfælde af regnvejr i forbindelse med udlægningen af betonen, skal denne straks tildækkes efter etablering af overfladestrukturen, hvormed nedtrængning af vand og bortskylning af betonen forhindres. For at undgå en ukontrolleret hærdning, i tilfælde af høje og lave temperaturer, er der i Wisconsin fastsat en øvre og nedre grænse for hvornår udlægning af beton kan ske. Er temperaturen af betonen over 26 °C, er det nødvendigt med en speciel tilladelse for at udlægge betonen og der skal tages særlige forholdsregler, så som at nedkøle betonen. I den anden ende af skalaen må betonen ikke udlægges, hvis temperaturen er 2 °C eller derunder. I tilfælde af de lave temperaturer, skal selve temperaturen af betonen altid være 10 °C eller derover. [WisDOT 2008]

Selve tykkelsen af betonbelægningen bliver dimensioneret til et givent projekt, men der er imidlertid defineret en minimum og maksimum tykkelse, der er henholdsvis 20 og 30 cm. [Neuhauser 2008]

I Wisconsin regnes en betonvej endvidere for at have en levetid på 25 år, uden større reparationsarbejder. Efter de 25 år vil det især være nødvendigt at reparerer tværfuger, selve betonpladerne regnes stadig for at være intakte. [WisDOT 2006]

4.2.2. Armerede betonbelægninger i Canada.

Denne type betonbelægninger har en meget begrænset udbredelse og tendensen i Canada er da også, at de ikke længere anlægges. Princippet minder meget om uarmerede betonbelægninger med tværfuger, jf. afsnit 4.2.1, men ved denne type, armeres betonpladerne hvilket giver en længere afstand mellem tværfugerne, jf. figur 4.16. [CAC 2008]



Figur 4.16. Armeret betonbelægning med tværfuger.

Afstanden mellem tværfugerne kan øges til omkring 13 m, hvorpå der opnås en besparelse af dyvler, hvis disse anvendes. På grund af de længere betonplader har erfaringer vist at der opstår et ukontrolleret brud cirka midt på pladerne, jf. figur 4.16. [CAC 2008]

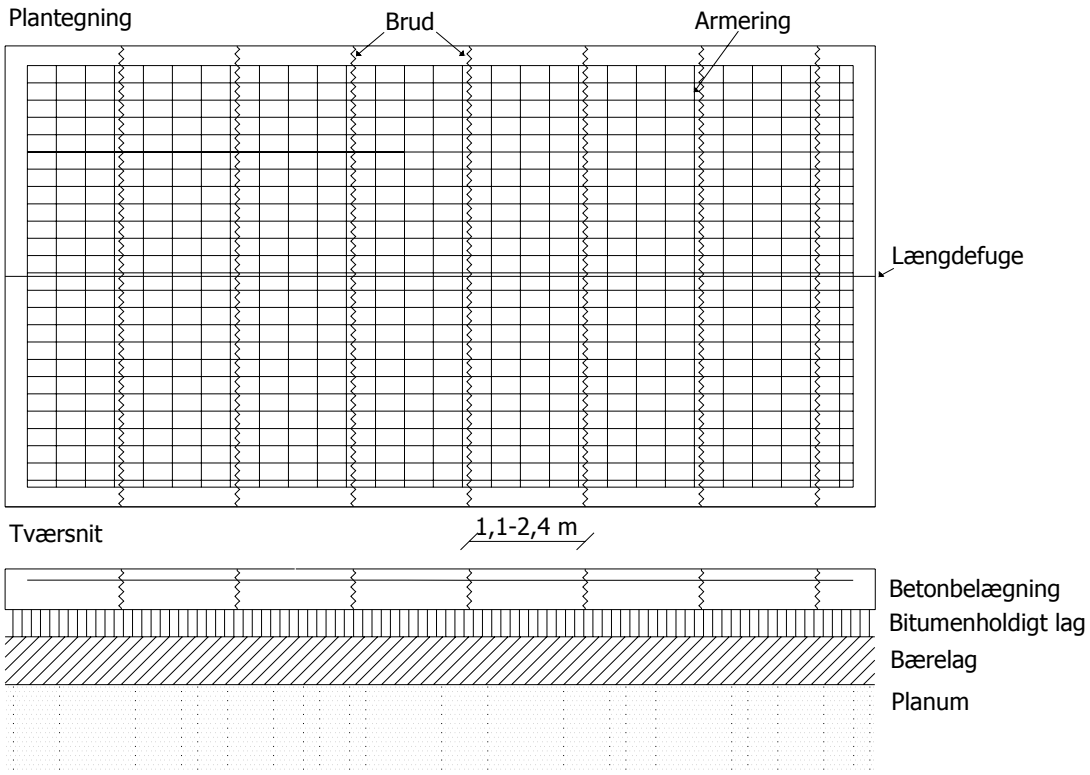
Betonbelægningen bliver udlagt i en tykkelse af 20 cm og derover i de tilfælde, hvor belægningstypen anvendes på større veje. [CAC 2008]

4.2.3. Kontinuert armerede betonbelægninger i Belgien

Belgien er et af de lande, hvor betonveje blandt andet udføres som kontinuert armerede. Grundprincippet blev importeret fra USA og i 1970'erne blev den kontinuert armerede betonbelægning anvendt på alle motorveje. Erfaringerne fra disse udmundede i en standard vejopbygning sidst i 1990'erne, der stadig gælder for alle betonmotorveje. [Jasienski et al. 2006]

Som bærelag anvendes et cementstabiliseret bærelag efterfulgt af et bitumenholdigt lag i en tykkelse af 4 – 5 cm. Ovenpå denne opbygning udlægges selve betonlaget. Det bitumenholdige lag blev indført da der tidligere var observeret problemer med nedsivning af vand til bærelaget. [Jasienski et al. 2006]

Hovedidéen bag de kontinuert armerede betonbelægninger er, at der udlægges et net af armering i betonbelægningen der skal sammenholde betonvejen og modstå sammentrækninger/udvidelser, jf. figur 4.17.

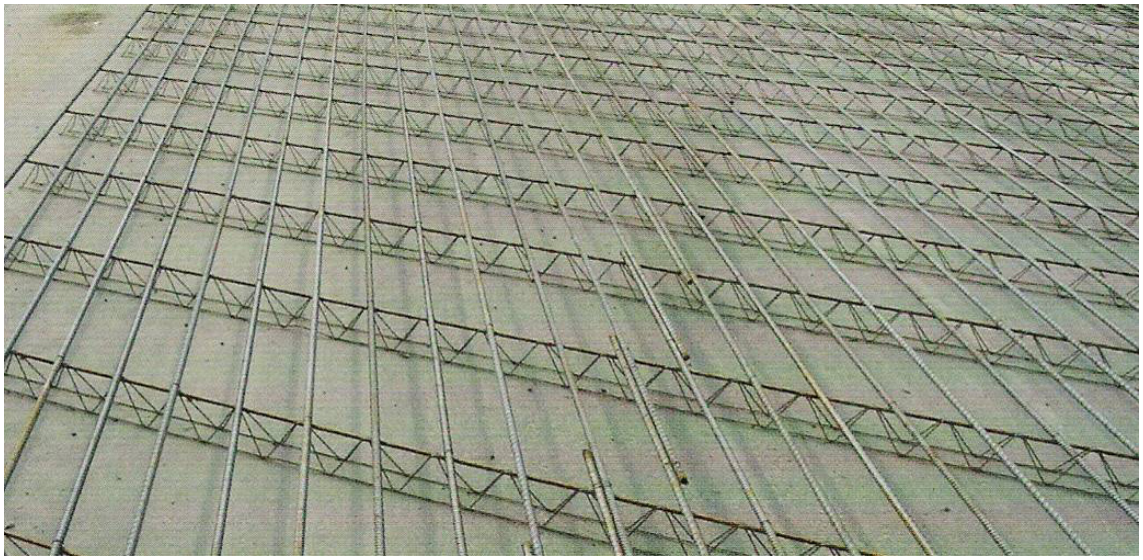


Figur 4.17. Kontinuert armeret betonbelægning.

I og med at hele betonvejen bliver fuldt armeret, kan tværfugerne, som saves i de to andre typer af betonbelægninger, undgås. Grundet mangel på fuger vil der opstå en række ukontrollerede brud på grund af det indre arbejde i betonen og erfaringer har vist, at de opstår for hver 1,1 – 2,4 m. Disse revner er mindre end de savede og giver dermed bedre kørselskomfort. Længdefugen etableres stadig i forbindelse med vognbanebredden. [Jasienski et al. 2006]

Selve betonbelægningen er ifølge standarden 20 – 23 cm tyk og armeringen udgør 0,76 procent i et tværsnit. Armeringen er almindelig stålarmering og da der ikke er tværfuger, anvendes der ikke dyvler[Jasienski et al. 2006]. I Belgien er den forventede designlevetid af kontinuert armerede betonbelægninger 30 år, men har i flere tilfælde vist sig at være langt længere. [US Department of Transportation]

Fremgangsmåden for udlægningen er som i de to forrige tilfælde. Armeringen placeres forud for udlægning af betonbelægningen, jf. figur 4.18, hvorefter denne udlægges ved hjælp af en slipform paver eller støbes efter faste forme. [Jasienski et al. 2006]



Figur 4.18. Udlægning af armering.

Overfladeteksturen på motorvejene i Belgien etableres ved en frilægning af skærverne. Efter udlægning påføres en retarder og efterfølgende sker der en afdækning af betonen med plastik, jf. figur 4.19. Denne plastik beskytter mod udtørring af betonen men også mod regnvejr, så betonen ikke vaskes væk. Næste dag fjernes plastikken og overfladen afkostes, hvormed frilægningen sker. Slutteligt saves længdefugen og denne forsegles. [Jasienski et al. 2006]

Figur 4.19. Udlægning af plastik til beskyttelse mod udtørring og regn. [Jasienski et al. 2006]

I Belgien er der som i Wisconsin, jf. afsnit 4.2.1, også fastsat temperaturgrænser for hvornår betonbelægninger må udlægges. Temperaturen skal mindst være over 1 °C om morgenen klokken 8 og må ikke have været under -3 °C om natten. I tilfælde af frost indenfor de første 72 timer efter udlægning, skal betonen neddækkes af et isolerende materiale. Dette skal hindre at betonen på intet tidspunkt kommer under 1 °C. I tilfælde af temperaturer over 25 °C er det nødvendigt at foretage ekstra foranstaltninger, for at undgå en for hurtig hærdning. Dette kan være i form af at tilføre ekstra forseglingsvæske eller vande bærelaget, for at undgå at dette absorberer vandet fra nederste del af betonen. [Jasienski et al. 2006]

4.3. Sammenfatning

Igennem tiderne har de danske betonveje været af meget varierende kvalitet. Et af de største problemer med betonvejene, har været betonsammensætningen. Vand/cement forholdet var for lavt og der blev anvendt alkalireaktive tilslag, der medførte, at betonen blev nedbrudt for hurtigt. Men også udlægningsmetoderne har været forskellige, hvilket også har givet anledning til betonveje med kort levetid. Disse problemer har medført, at beton ikke længere er et muligt belægningsalternativ.

På trods af de uheldige udfald, er der opnået en del erfaringer omkring betonveje. Af de udlagte veje, har nogle haft en imponerende levetid på 50 år, hvilket er meget konkurrencedygtigt overfor asfalt. Endvidere er det også lykkedes at lave en overfladestruktur, der sikrer en tilstrækkelig friktion. Her er det frilægning af skærver, der viser sig som det mest effektive, da denne type har det mindste støjniveau. Anvendelse af dyvler i fugerne har vist sig at være funktionel, hvormed pladespring reduceres. Til slut har det vist sig at anvendelsen af erfarent mandskab og materiel har givet gode resultater, i stedet for at eksperimentere selv, ikke mindst med hensyn på udlægningen.

I udlandet er der overordnet tre type betonbelægninger, der bliver udlagt, hvoraf den ene, armeret betonbelægning med tværfuger, har en meget begrænset udbredelse. De to andre typer er betonbelægning med tværfuger og kontinuert armeret betonbelægning, hvor de kontinuert armerede betonbelægninger hovedsagelig bliver udlagt, hvor der forefindes en stor trafikbelastning, der kan retfærdiggøre de højere anlægsomkostninger.

Som ved asfalt er der en række krav for beton, der gør sig gældende ved udlægning. Dette gælder især temperaturen, hvor der er en minimum og maksimum grænse for, hvornår beton kan udlægges. De to lande, der er sammenlignet, har ikke præcis de samme grænser for dette, der ses dog kun en variation på plus/minus en grad.

Metoden hvorpå beton kan udlægges, er enten ved slipform paving eller ved brug af faste forme, hvor slipform paving har den største udbredelse, der også er den metode, der har givet de bedste resultater i Danmark. Overfladeegenskaberne etableres enten ved at trække en fiberdug over den udlagte beton eller ved en frilægning af skærver.

4.4. Forslag til betonbelægning

Uarmerede betonbelægninger med tværfuger og kontinuert armerede betonbelægninger er overordnet de to typer, der stadig bygges i udlandet og med gode resultater. Skal betonbelægninger atter bygges i Danmark, vil det derfor være fordelagtigt at tage udgangspunkt i en af disse to typer.

Med hensyn til valget mellem uarmeret eller kontinuert armeret betonbelægning, vil det være den uarmeret, der vil være nemmest og billigste at anlægge. Endvidere er det på meget trafikerede veje i Belgien de kontinuert armerede betonbelægninger bliver anvendt, med en ÅDT på 200.000, hvorfor det umiddelbart vil være overdimensionering at benytte denne type i Danmark [Jasienski et al.]. Taget i betragtning af de tidligere erfaringer med de uarmerede betonbelægninger på Falster, jf. afsnit 4.1.5, har Danmark en del viden, der også vil kunne

anvendes. Blandt andet viste det sig at være fordelagtigt med dyvler i tværfugerne, hvilket også bekræftes igennem den måde betonveje bygges i Wisconsin.

Med hensyn til etablering af overfladeegenskaberne anbefales det af gruppen at denne skal etableres ved hjælp af frilægning af skærver. Denne metode giver en tilstrækkelig friktion og undersøgelser påpeger at denne type overflade har det laveste støjniveau.

I udlandet foregår udlægningen af betonen efter to metoder, slipform pavement eller støbning i faste forme. De faste forme er mest anvendelige ved mindre anlæg, hvorimod slipform pavement oftest anvendes ved større anlæg, hvor tiden og kapaciteten er en vigtig faktor [University of Washington 2005]. Slipformteknikken er tidligere anvendt på Falster-strækningen og virker endvidere som det mest tidssvarende, hvorfor det anbefales at denne form for udlægning anvendes i Danmark.

Af de tre lande der er analyseret, vurderes det at de vejrmæssige forhold i Belgien minder mest om de danske, mens vejret i USA og Canada er mere barskt. Derfor kan der ved en implementering af de tre slags betonbelægning i Danmark ikke forventes dårlige resultater grundet vejrets påvirkninger.

De temperaturkrav, der er for udlægning af betonbelægninger i udlandet, giver ikke anledning til, at det ikke skulle være anvendeligt i Danmark. Fælles for kravene er, at det ikke er ønskeligt at udlægge beton, når temperaturen nærmer sig frysepunktet. Denne situation vil kunne opstå i Danmark, men taget i betragtning af vejanlæg oftest bliver udført uden for vinterperioden, anses dette ikke som noget problem. Endvidere er der en øvre grænse for temperaturen, der ligger på omkring 25 °C. Kommer temperaturen over dette, vil det være nødvendigt med ekstra foranstaltninger.

5. Densiphalt

I den tekniske og samfundsøkonomiske analyse vil de semifleksible belægninger indgå som et alternativ til asfalt. Da der findes en række firmaer i Danmark, der producerer semifleksible belægninger, er det, jf. kapitel 3, valgt at tage udgangspunkt i Densiphalt. Dette kapitel har til formål at kortlægge erfaringer med Densiphalt og beskrive selve belægningen. Dette vil senere blive anvendt som baggrundsdata i den tekniske og samfundsøkonomiske analyse.

Grundet et meget begrænset omfang af anvendelse af Densiphalt på vejstrækninger, indeholder dette kapitel ikke direkte erfaringer fra vejstrækninger og evalueringer af disse, hvilket var tilfældet for beton, jf. kapitel 4. Afsnittet tager derfor udgangspunkt i anvendelsen af Densiphalt og ikke mindst hvilke specielle forhold, der skal være opfyldt ved udlægningen.

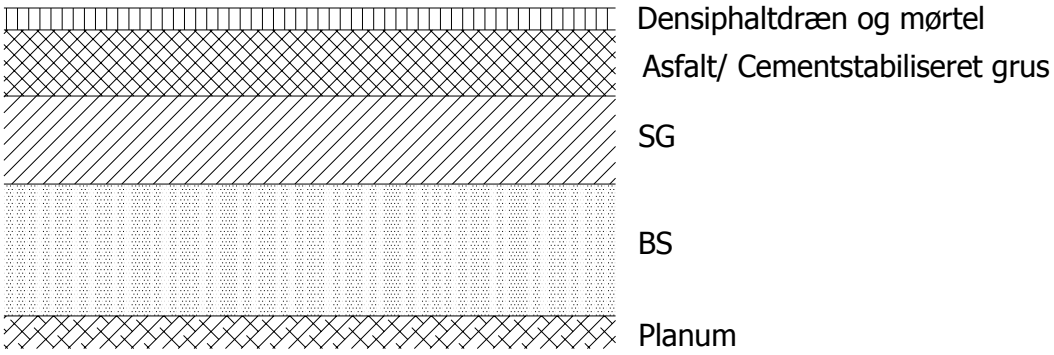
5.1. Erfaringer

Densiphalt er som tidligere nævnt, jf. afsnit 2.2.2, en kombination af asfalt og beton, med det formål at udnytte asfaltens elasticitet og betonens styrke for dermed at have en fugefri belægning med høj styrke. I Danmark er Densiphalt endnu ikke anvendt som vejbelægning på længere strækninger, men er anvendt på steder, der er særlig belastede af tung trafik, som containerpladser, industrihaller, havneområder, til- og frakørselsramper og busholdepladser. I Aalborg er belægningen helt konkret anvendt som belægning ved buslommer, jf. figur 5.1. [Amdi 2008]

Figur 5.1. Eksempel på anvendelse af Densiphalt i buslomme ved Vingårdsgade, Aalborg.

Opbygningen af de underliggende lag til Densiphalt minder meget om den standard opbygning der bliver anvendt på de danske asfaltveje, jf. afsnit 2.2.2, hvor der udlægges bundsikringslag og et lag af stabilt grus. Selve bærelaget består typisk af et asfaltlag eller cementstabiliseret grus, men ønskes der en yderligere styrke kan der udlægges en underbeton i stedet. Laget forsegles med bitumen emulsion. Selve Densiphaltlaget består af to produkter, et lag af

Densiphaltdræn hvorpå der efterfølgende bliver udhældt Densiphaltmørtel. Densiphaltlaget udlægges i en tykkelse af 3 til 10 cm. Den samlede opbygning fremgår, jf. figur 5.2. [NCC 2008]



Figur 5.2. Generel opbygning af densiphalt belægning.

I og med at hovedbestanddelen i Densiphalt er asfalt udlægges dette med almindelig asfaltudlægningsmateriel. Dette gør, at det er muligt at udlægge Densiphalt med samme nøjagtighed som asfalt. Drænasfalten skal have en meget høj hulrumsprocent på mellem 22 – 30 procent, for at sikre nedtrængning af densiphaltmørtlen. [NCC 2008]

Da mørtelen er meget flydende, jf. figur 5.3, bliver den oftest pumpet ud på drænasfalten, hvorefter den bliver fordelt. [NCC 2008]

Figur 5.3. Flydende Densiphaltmørtel.

I forgrunden af figur 5.3 ses den overskydende flydende mørtel og i baggrunden drænasfalten, der er mættet med densiphaltmørtel. Den høje hulrumprocent i drænasfalten, gør at mørtlen kan trænge ned i selve asfalten og udfylde hulrummet. Denne egenskab gør, at belægningen har en større modstandskraft overfor tunge belastninger. [NCC 2008]

Densiphaltmørtlen kan først udlægges, når asfalten er blevet kold og som minimum nedkølet til en temperatur på 43 °C eller derunder, da mørtlen ellers vil hærde for hurtigt og ikke udfylde alle hulrum. [EucoDensit 2008]

Efter at mørtlen er pumpet ud over drænasfalten, skal mørtlen fordeles, hvormed overfladestrukturen også etableres. Standardmetoden, hvorpå dette gøres, er ved at trække en gummiskraber over drænasfalten. Dette fordeler mørtlen jævnt og den færdige overflade fremstår, som en almindelig asfaltoverflade, men med en grålig farve, hvor stenene i asfalten stadig er synlige og sikrer friktion. Fordelingen af mørtlen kan enten ske ved håndkraft eller maskinelt. Ønskes en mere ru overflade er det muligt at etablere dette. Dette kan ske ved tilsætning af sand eller ved maskinafkostning. [NCC 2008]

Efter udlægningen og fordeling af Densiphaltmørtel skal belægningen hærde. For at sikre dette ikke sker for hurtigt påføres en Curing Compound. Belægningen må belastes med let kørsel efter et døgn og efter tre dage må belægningen udsættes for almindelig trafik. Dette er kun i tilfælde af en temperatur på 20 °C, hvorfor der må beregnes længere tørringstid ved lavere temperaturer. [NCC 2008]

Densiphaltmørtlen må ikke udsættes for regn, hvilket også gælder for asfaltlaget. Dette bør overdækkes efter udlægning, hvis der er risiko for regn. Trænger vand ned i asfalten, vil mørtlen ikke udfylde alle hulrum, hvorfor styrken af belægningen vil blive reduceret. Densiphalt mørtlen bør beskyttes mod regn umiddelbart efter udlægning og indtil belægningen er hærdet. [NCC 2008]

Densiphaltmørtel kan endvidere ikke udlægges, hvis temperaturen er under 5 °C, da dette påvirker mørtlens egenskaber. I tilfælde af at temperaturen er omkring de 5 °C, skal belægningen beskyttes mod lavere temperaturer fire dage efter udlægning. Endvidere må udlægningen ikke foretages, hvis temperaturen er over 32 °C. I tilfælde af direkte sol skal belægningen neddækkes efter udlægning. [EucoDensit 2008]

TEKNISK ANALYSE

Skal der anvendes et alternativ til asfalt i Danmark, er det nødvendigt at den nye belægning kan leve op til de danske krav. Denne sektion indeholder derfor en præsentation af udvalgte krav, der gælder for vejbelægninger i Danmark. Kravene er friktion, jævnhed, profil, lyshed, støj og holdbarhed. Efterfølgende bliver asfalt, Densiphalt og beton evalueret ud fra hvert kriterium. Asfalt medtages, da det ønskes at undersøge, om de to alternativer er i stand til at overgå asfalt ved nogle af kriterierne. Slutteligt sammenholdes alle resultater af evalueringen, for at undersøge hvilken belægning der vil være bedst egnet i en given situation.

6. Generelle krav til vejbelægninger

Dette kapitel indeholder en gennemgang af de generelle krav, der stilles til vejbelægninger i Danmark. På nuværende tidspunkt findes der kun danske krav til vejbelægninger udført som asfaltbelægninger, mens hensigten med opstillingen af kravene er senere i indeværende rapport, at benytte kravene som sammenligningsgrundlag mellem asfalt og beton.

Primært er det gode overfladeegenskaber, som en vej skal være i besiddelse af, for at trafiksikkerheden på en given vejstrækning sikres for trafikanterne. Yderligere stiller nutidens trafikanter store krav til komforten, når de benytter færdselsarealerne i Danmark, hvorfor det ikke kun er nødvendigt at belyse overfladeegenskaber for trafiksikkerheden. Endvidere stilles der krav til opbygningen af vejbelægningen, således der fås en stor holdbarhed og dermed en lang levetid for vejen.

6.1. Funktionskrav til vejbelægninger

En vej udsættes hele tiden for forskellige belastninger. Primært er det den trafikale belastning, men vejrforholdene er også med til at påvirke vejens tilstand. Trafikken udsætter vejen for varierende kraftpåvirkninger i forskellige retninger, mens vejret påvirker vejen i form af nedbør, frost og varme. Da vejen skal kunne modstå disse påvirkninger, er det nødvendigt at opstille en række krav, så der opnås et godt udgangspunkt, for at vejens funktion kan opretholdes længst muligt.

Generelt gælder det, at belægningen skal have et sådant udseende, at den opfattes som ensartet. Desuden skal slidlaget være stabilt og der må ikke forefindes gennemsvedninger, revner, afskalninger, rivninger, huller eller lunker. Endvidere skal tilslaget være af en sådan kvalitet, at førnævnte undgås og nedbrydningen ikke accelereres. [Vejdirektoratet 2006b]

I vejreglerne bliver der stillet krav til følgende emner:

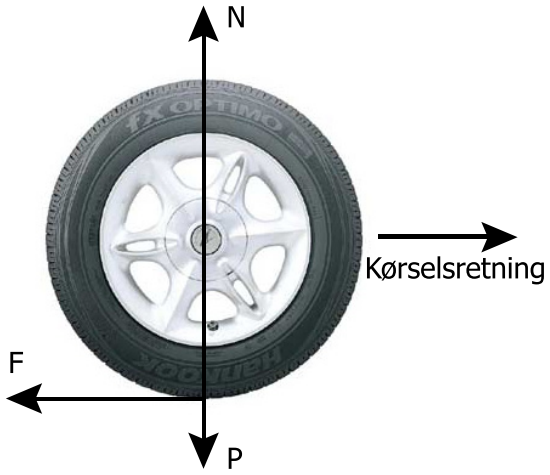
- Friktion.
- Jævnhed.
- Profil.
- Lyshed.
- Støj.
- Holdbarhed.

De efterfølgende afsnit vil gennemgå hvert af de ovenstående emner, med henblik på at præcisere de enkelte krav, der er fremstillet i vejreglerne.

6.1.1. Friktion

Friktion opstår ved kontakt mellem to flader. I trafikkens tilfælde vil det være mellem et bildæk og vejoverfladen. Friktion spiller en væsentlig rolle i trafiksikkerheden, da denne er med til at sikre bilen stabilitet under acceleration, bremsning og retningsændring. Særligt i vådt føre er friktionen med til at sikre køretøjet mod udskridning.

Friktionskraften er den kraft **F**, jf. figur 6.1, der opstår ved bevægelse af bildækket henover vejen. Kraften er modsatrettet bevægelsesretningen og ved kørsel på vandret overflade, vinkelret på både tyngdekraften **P** og normalkraften **N**, som her er numerisk lige store og tager udgangspunkt i dækkets tyngdepunkt.



Figur 6.1. Kræfter mellem bildæk og vejoverflade.

Forholdet mellem de to kræfter **F** og **N** er givet ved friktionskoefficienten μ, som giver anledning til følgende udtryk for friktionskraften:

$$\mathbf{F} = \mu \cdot \mathbf{N} = \mu \cdot \mathbf{P} \cdot \cos(v)$$

- F er friktionskraften.
- μ er friktionskoefficienten.
- N er normalkraften.
- P er tyngdekraften.
- v er den givne vinkel for vejoverfladen.

I det særtilfælde at bevægelsen foretages på en vandret overflade er cos(v) lig 1, hvorfor **N** og **P** i dette tilfælde bliver lige store men modsatrettede.

Friktionskoefficienten μ afhænger af vejoverfladen, bildækkene, hastigheden samt måden dækkene bevæger sig henover vejoverfladen. [Thagesen et al. 2000]

Vejoverfladen

Denne faktor er den eneste af de fire førnævnte, som kan henføres direkte til vejbygningen. Selve overfladestrukturen betyder meget for friktionen, da denne i samspil med bildækket skaber friktionen. Almindeligvis kan det nævnes, at overfladen bør være ru, men ikke for meget, da det så kan gå ud over andre funktionsegenskaber for vejbelægningen. Her tænkes primært på støj og jævnhed. [Thagesen et al. 2000]

Valget af materialer og sammensætning af disse har stor betydning for at opnå en ru overflade sammen med udførelsen af vejbygningen. Ruheden opnås ved at benytte stenkorn med en skarp struktur. Endvidere har det betydning, hvorvidt overfladen er tør, våd eller eventuelt beskidt. [Thagesen et al. 2000]

Bildækket

Bildækket er en faktor, der også direkte påvirker friktionen, som vejoverfladen gør det. Her har dæktrykket, akseltrykket og dækmønstret indflydelse, da disse har betydning for den tyngde dækket trykker med på vejoverfladen og selve dækkets egen overflade. Da friktionen afhænger af tyngdekraften, vil et større aksel- og dæktryk betyde større friktion, mens et dækmønster med dyb rilledybde også betyder større friktionen. Dette er især vigtigt ved vand på kørebanen, da mønstret hjælper med at lede vandet væk. [NCC 2001]

Desuden falder friktionskoefficienten μ med en stigende temperatur, hvorfor denne er mindre om sommeren og når dækket er varmt efter nogen tids kørsel. [Thagesen et al. 2000]

Hastigheden

Bilens hastighed er en faktor, der forsøges reguleret med skiltning, men de enkelte bilisters hastigheder har alligevel stor spredning. Friktionskoefficienten afhænger af hastigheden, således den er omvendt proportional med hastigheden. Jo højere hastighed desto mindre er friktionskoefficienten, derfor ønskes en mere ru vejoverflade på strækninger med høje hastigheder end ved de lavere hastigheder i eksempelvis byområder. I enkeltheder skyldes dette, at kontakttiden mellem dækket og vejoverfladen bliver mindre ved høje hastigheder, derfor skal der benyttes grovkornede vejoverflader ved hastigheder over 50 km/t. [NCC 2001]

Bildækkets bevægelser

Under normal acceleration og opbremsning i ligeud retning er dækkets retning den samme som bevægelsesretningen, hvilket giver de bedste køreegenskaber men mindre friktion end ved et skråtstillet dæk. Ved bremsning gælder det generelt, at den mest optimale opbremsning og største friktion opnås ved 15 procent blokering af hjulet, hvilket benævnes 15 procent slip. 100 procent slip svarer dermed til en blokering af hjulet. [NCC 2001]

Vejreglernes krav til friktionskoefficienten

Kravene til friktionen i de danske vejregler er beskrevet i forhold til friktionskoefficienten μ. Kravene gælder ikke for asfaltslidlag med små stenstørrelser. [Vejdirektoratet 2006b]

Der benyttes en middelfriktionskoefficient over en 100 m lang strækning målt med en ROAR (ROad Analyser and Recorder), der er en målevogn der måler på et ligeud kørende hjul, hvor slippet kan varieres [Banke 2005]. Målingerne skal foretages ved hastigheden 40 km/t, 50 km/t eller 60 km/t på en forholdsvis ren vejoverflade med udsprøjtet vand og med 20 procent slip. [Vejdirektoratet 2006a]

Kravene er opstillet i forhold til asfalt, da dette er det mest benyttede vejbygningsmateriale til slidlag i Danmark, jf. tabel 6.1

Tabel 6.1. Krav til μ ved forskellige målehastigheder. [Vejdirektoratet 2006b]

	Målehastighed	μ
Slidlag på veje med tilladt hastighed < 50 km/t	40 km/t	μ ≥ 0,50
Slidlag på veje med tilladt hastighed = 50 km/t	50 km/t	μ ≥ 0,45
Slidlag på veje med tilladt hastighed 60 – 80 km/t	60 km/t	μ ≥ 0,40
Slidlag på veje med tilladt hastighed > 80 km/t	60 km/t	μ ≥ 0,50
Andre asfaltlag, som trafikeres	60 km/t	μ ≥ 0,40

Tabel 6.1 viser minimumsværdierne for μ, gældende for nyanlæg. Såfremt der udføres målinger på veje med tilladte hastigheder på 60 km/t eller højere kan der suppleres med en måling ved 80 km/t. Her må resultatet for μ ikke være mere end 0,10 mindre end μ målt ved 60 km/t.

I det tilfælde hvor der er tale om en vej der har allerede er i drift er kravet til middelfriktionskoefficienten, $\mu \geq 0{,}40$. [Vejdirektoratet 2004]

6.1.2. Jævnhed

En jævn vejoverflade har stor betydning for brugerne af vejen. Primært vil en ujævn vejoverflade betyde en forringelse af komforten, da de større eller mindre rystelser forårsaget af vejoverfladen vil forstyrre kørselsoplevelsen. Hertil kommer at ujævnheder indirekte har andre konsekvenser for trafiksikkerheden og miljøet, da det stiller større krav til både køretøj og føreren af dette, hvorfor det kan blive sværere at styre køretøjet, der igen vil bruge mere brændstof.

Der er stor forskel på, hvad den enkelte opfatter som ujævnheder, men generelt er det kun mærkbart, hvis ujævnhedernes bølgelængder ligger indenfor intervallet 0,5 - 50 m, da vejens overflade kan opfattes som en sammensætning af bølger. Særlig dårlig for kørselskomforten er det ved bølgelængder i intervallet 1,4 - 7 m ved 50 km/t eller 3 - 15 m ved 110 km/t. Udenfor de angivne intervaller negligeres ujævnhederne, da bølgerne her enten bliver optaget af dækket og stødabsorberingen ellers bliver en del af vejens forløb. [Thagesen et al. 2000]

De forskellige forhold i kørselskomfort ved forskellige hastigheder hænger sammen med, at ujævnheder opleves krafttigere ved høje hastigheder. Eksempelvis opleves en ujævnhed ved 120 km/t fire gange så kraftig som ved 60 km/t. Derfor slækkes der også nemmere på jævnhedskravene for veje med lavere hastigheder. [NCC 2001]

Ujævnheder kan henføres til udlægningen og underlaget.

Udlægningen

En ujævn vejoverflade kan skyldes for dårlig udført udlægning, hvor eksempelvis afretningen eller komprimeringen ikke udføres korrekt. Det kan også være et forkert materialevalg eller sammensætning, der resulterer i ujævnheder. Dette er gældende i alle vejbelægningens lag, da et jævnt underliggende lag optimere muligheder for jævne lag ovenover. [NCC 2007]

Underlaget

Flere ujævnheder kan henføres til underliggende lag i vejopbygningen, som ikke har været af en beskaffenhed, så det er muligt at lave en jævn vej. En anden mulighed er, at vejen ved aflevering er jævn, men for blød underbund betyder, at vejoverfladen hurtigt bliver ujævn, da sådanne problemer forplanter sig op igennem vejkonstruktionen. Generelt kan ændringer i underlaget forplante sig til ujævnheder og revner op gennem vejbelægningen. Eksempelvis kan kloakrør og andre rørunderføringer ofte resultere i lunker eller revnedannelse, da understøtningen er anderledes her. Ligeledes kan ændringer i sidestøtten betyde ujævnheder på kørebanen. [NCC 2007]

Vejreglernes krav til jævnheden

I vejreglerne beskrives ujævnhed i forhold til længderetningen, mens andre ujævnheder indgår under profilet, jf. afsnit 6.1.3.

Der refereres til en 100 m lang strækning, hvor antallet af ujævnheder samt disses størrelse observeres. Som måleudstyr til benyttelse af tabellen, jf. tabel 6.2, er benyttet en retskedeviagraf, der principielt svarer til måling af jævnheden med en 5 m lang retskede. [Vejdirektoratet 2006a]

Tabel 6.2. Maksimalt antal ujævnheder ved et givent materiale og hastighed ved nyanlæg. [Vejdirektoratet 2006b]

Materiale	Ønsket hastighed	Ujævnhedernes størrelse og antal pr. 100 m strækning				
		≥ 10 mm	≥ 7,5 mm	≥ 6 mm	≥ 5 mm	≥ 3 mm
Slidlag	> 80 km/t	0	0	2	3	9
	≤ 80 km/t	0	2	3	5	15
Binde- og bærelag	> 80 km/t	0	2	3	5	15
	≤ 80 km/t	5	10	-	-	-

Tabel 6.2 viser det acceptable antal af ujævnheder, deres størrelse, materialet til vejoverfladen samt den ønskede hastighed. Endvidere er det vist, at der i slidlag ikke accepteres større ujævnheder, mens i binde- og bærelag er der intet tal for antallet af små ujævnheder under 80 km/t. Yderligere ses der bort fra ujævnheder, der er mindre end 3 mm, da disse ikke vil være mærkbare, fordi dækket og affjedringen optager disse små ujævnheder [Thagesen et al. 2000].

Endvidere skal ujævnheder som følge af brønddæksler, fuger og lignende ikke regnes med, da ujævnheder ved sådanne steder ikke kan undgås. De skal udføres så jævnt som muligt, da de kan være generende at overkøre.

I tilfælde af at der er tale om en allerede eksisterende vej, gælder der andre krav. Som kriterium anvendes der her IRI (International Roughness Index), der angiver et udtryk for komforten af vejen. Størrelsen af IRI-tallet er et udtryk for hvor meget en laser, der er monteret på en specialbygget vogn, i alt hopper, når vognen køres henover vejen [PennDOT 2008]. Dermed vil en helt glat overflade betyde et IRI-tal på 0 m/km. [Vejdirektoratet 2004a]

IRI-værdien for en vej må maksimalt antage 3,5 – 4,5 m/km ved trafikveje og 4,5 m/km for lokalveje. Disse værdier overskrides sjældent, da der oftest vil være andre skadestyper forinden, der vil kræve en ændring af vejen. [Vejdirektoratet 2004a]

Reelt set betragtes belægninger med en IRI værdi over 2 m/km for mindre gode. [Thøgersen 2008]

6.1.3. Profil

En vejs tværprofil er med til at øge trafiksikkerheden. Tværprofilet skal sikre en optimal afvanding, således aqua-planing undgås. Hermed må tværprofilet ikke være så ujævnt, at der risikerer opsamling af vand på kørebanen. Dette er eksempelvis tilfældet ved sporkøring, der er langsgående fordybninger i hjulsporene.

Årsagerne til et ujævnt tværprofil kan henføres til underlaget og udlægning ligesom for ujævnhederne i længderetningen, jf. afsnit 6.1.2. Hertil kan sporkøring henføres til trafikkens påvirkninger og slidtage på vejen.

Vejreglernes krav til profilet

I vejreglerne beskrives ujævnheder i profilet i forhold til en retskede og sidehældningen.

Normalt benyttes en sidehældning på 25 promille på retlinede vejstrækninger. Tolerancen i forhold til maskinudlagte vejoverflader er 5 promille. [Vejdirektoratet 2006b]

Ved kontrol af ujævnheder i tværprofilet benyttes en 1 m retskede. Her må afstanden mellem retskeden og vejoverfladen ikke overstige 3 mm. [Vejdirektoratet 2006b]

Sporkøring må ikke forekomme, hvorfor der intet sted må være spordybder større end 10 mm. Dette eftervises med en 2 m lang retskede. [Vejdirektoratet 2006b]

Generelt gælder det, at profilet skal være af en sådan standard, at det ikke går udover komfort, afvanding eller trafiksikkerhed.

6.1.4. Lyshed

De lystekniske forhold har stor betydning for trafiksikkerheden. Her påtænkes både vejens lyshed og belysning, da begge hjælper bilisterne med at identificere vejens forløb samt eventuelle forhindringer eller medtrafikanter.

På ubelyste veje sikres trafiksikkerheden af bilernes eget lys, vejens lyshed og afmærkningen på og langs vejen. Dette er også tilfældet på belyste veje, men her forbedres synsforholdene af den opstillede belysning, jf. figur 6.2.

Figur 6.2. Belyst highway ved Atlanta, USA. [Luong 2008]

På en belyst vej forbedres synsforholdene markant. Hertil kan det nævnes, at jo lysere vejbelægningen er, desto mindre belysning behøves. Såfremt vejbelægningen bliver for lys, vil det gøre det vanskeligere at skelne almindelig dansk kørebaneafmærkning fra selve belægningen. Dette sker, når trafikken på asfaltbelægninger slider bitumenen af og tilslaget bliver mere synligt. [NCC 2001]

En lys belægning giver en forbedret trafiksikkerhed primært på veje med hurtigkørende trafik, men det bedste resultat opnås, hvis vejoverfladen vedbliver sin lyse farve i våd tilstand. Ofte foreskrives et lyst tilslag på 15 vægtprocent eller mere af det samlede tilslag. [NCC 2001]

Selve vejoverfladens struktur har også betydning, da der sker en refleksion af lyset fra belysningen fra både biler og lygtepæle. Denne refleksion må ikke være blændende for trafikanterne, da det kan gå udover sikkerheden. Teknisk beskrevet skal refleksionen være diffus frem for spejlende. [Thagesen et al. 2000]

Vejreglernes krav til lysheden

Der er ingen generelle regler for en vejs lyshed, men der kan opstilles krav til en vejs lystekniske egenskaber, såfremt dette ønskes. Kravene opstilles særskilt som krav til henholdsvis belyst eller ubelyst vej. [Vejdirektoratet 2006b]

Refleksionen beskrives ud fra forholdet mellem en prøves luminans og luminansen for en ideel diffus flade. Dette forhold benævnes som luminansfaktoren/lysrefleksionsfaktoren β og de anbefalede værdier til denne er vist herunder, jf. tabel 6.3.

Det nævnes, at luminans er defineret som lysstyrken i en given observationsretning i forhold til lyskildens tilsyneladende areal. [Sundhedsstyrelsen 2005]

Tabel 6.3. Krav til luminansfaktoren β. [Vejdirektoratet 2006b]

	Middel β	Mindste β
Ubelyst vej	0,080	0,075
Belyst vej	0,095	0,090

Middelværdien for β findes ud fra mindst seks snitflader af en borekerne, mens mindsteværdien for β er gældende for hver enkelt af snitfladerne. At β er større for en belyst vejstrækning skyldes, at der kan spares på belysningen ved større vejlyshed. Desuden fås større effekt af den lyse kørebaneafmærkning ved mindre β, hvilket vil være tilfældet for ubelyste strækninger. [Vejdirektoratet 2006a]

6.1.5. Støj

Støj er en faktor, som betyder noget for komforten og køreoplevelsen, og eftersom trafikmængden er stadigt voksende i Danmark, jf. kapitel 1, følger støjniveauet med. Dette betyder, at det ikke kun er bilisterne selv, der bliver generet af støjen, men også naboerne til trafikbelastede veje. Naboernes gene af støjen kan nedbringes ved at opføre eksempelvis støjskærme, men da dette ikke mindsker selve støjen, er det bedst at dæmpe denne ved selve støjkilden. Dette kan ske ved direkte midler til at nedbringe støjudsendelsen fra køretøjer og vejoverflade eller ved indirekte midler som at reducere trafikmængden eller hastigheden. [Thagesen et al. 2000]

Til beskrivelse af støj benyttes en logaritmisk skala for det relative lydtryk kaldet lydniveauet, der måles i enheden decibel (dB) og er et udtryk for energien afgivet af en lydkilde [Daikin 2008]. Ofte benyttes også enheden dB(A), der er en tilpasning af skalaen til den menneskelige hørelse. [Thagesen et al. 2000]

Trafikstøj består primært af motorstøj og dækstøj. Ved hastigheder under 50 km/t er det motorstøjen, der er den primære støjkilde, mens dækstøjen er størst ved de højere hastigheder, men for tunge køretøjer er motorstøjen også den største ved højere hastigheder. [NCC 2001]

Motorstøj

Motorstøj er den primære støjkilde fra trafikken i byområder, da hastigheden her normalt ikke overstiger 50 km/t. Denne støj mindskes i takt med, at bilparken fornys, men til gengæld er trafikken stigende, hvilket udligner denne reduktion. Endvidere er motorstøjen omtrent den samme ved alle hastigheder, men øges ved acceleration. [Thagesen et al. 2000]

Dækstøj

Dækstøj er en kombination af støj skabt af dækket og vejoverfladen. Ved hastigheder over 50 km/t er dækstøjen dominerende og er stigende med hastigheden. Støjen kan mindskes ved at benytte en porøs belægning eller en belægning med små stenstørrelser, da luftpumpningen her minimeres. [NCC 2001]

Vejreglernes krav til støj

Ligesom for lysheden, jf. afsnit 6.1.4, er der ingen generelle krav til trafikstøjen, men såfremt der ønskes en reduktion i støjen kan det formuleres i forhold til støjklasserne A, B og C, jf. tabel 6.4.

Tabel 6.4. Støjklasser. [Vejdirektoratet 2008]

Støjklasse	Støjreduktion (dB)	
Ønsket hastighed	50 km/t	80 km/t
A: Særligt støjreducerende	$x \geq 7{,}0$	$x \geq 7{,}0$
B: Meget støjreducerende	$5{,}0 \leq x < 7{,}0$	$5{,}0 \leq x < 7{,}0$
C: Støjreducerende	$3{,}0 \leq x < 5{,}0$	$3{,}0 \leq x < 5{,}0$

Støjreduktionerne måles med en metode, der benævnes CPX-metoden (Close ProXimity), jf. tabel 6.4, hvor x beskriver den målte støjreduktion i forhold til følgende referenceværdier [Vejdirektoratet 2008]:

- 94,0 dB(A) ved 50 km/t.
- 102,0 dB(A) ved 80 km/t.

Endnu er der ingen støjklasser eller referenceværdier for andre hastigheder.

Ofte vil det være interessant for bygherren og naboer til en vej, at vide omfanget af støjgener inden vejen bygges, da der således kan gøres tiltag, der kan nedbringe støjen eller støjgenerne. Derfor er der udarbejdet en støjberegningsmodel.

Den Nordiske Støjberegningsmodel – Nord2000 Road

Nord2000 Road er et program, der er udarbejdet for at kunne estimere trafikstøjens lydniveau og udbredelse. Dette kan være hensigtsmæssigt at kende, således det kan vurderes, om der eksempelvis skal opstilles støjskærme eller udlægges støjreducerende belægninger. [Kragh et al. 2006]

Med dette værktøj er det også muligt at ændre på forudsætninger og dermed undersøge indflydelse på lydniveauet ved forskellige løsninger. Som forudsætninger til programmet er ÅDT, trafiksammensætningen og spredningen henover døgnet samt den ønskede hastighed. Hertil er det nødvendigt med kendskab til slidlagsmaterialet og vejrforhold, da disse også har indflydelse på støjen. Udover vejoverfladen skal den omkringliggende topografi også kendes. [Kragh et al. 2006]

6.1.6. Holdbarhed

Holdbarhed er ensbetydende med en vejs levetid. Trafiksikkerheden og komforten er også afhængige af, at vejen er holdbar. Slidlaget skal være stabilt og have en bæreevne af en sådan størrelse, at der ikke opstår uhensigtsmæssige deformationer. [NCC 2001]

Desuden er slidlaget med til at beskytte de underliggende lag, hvorfor det er nødvendigt, at det er tæt og modstandsdygtigt overfor årstidernes varierende påvirkninger. Her påtænkes især, at det skal være vandafvisende, således vandet ikke kan skabe problemer ned igennem vejbelægningen i frostvejr, hvor vandet vil fryse til is og skabe frostsprængninger. Ved saltning

om vinteren skal vejoverfladen kunne modstå saltets påvirkninger, der kan skabe kemiske reaktioner samtidig med overafkøling, der kan medføre til ødelæggelse af vejoverfladen. [NCC 2001]

Endvidere skal slidlaget modstå trafikbelastningen i form af den lodrette belastning fra vægten af køretøjerne samt de vandrette og skrå belastninger ved acceleration, bremsning og vrid under kørsel. [NCC 2001]

Vejreglernes krav til holdbarhed

Vejreglernes krav til holdbarheden er forskellige afhængigt af det materiale, som benyttes til vejoverfladen. Derfor fremstilles de enkelte materialekrav ikke her, men der henvises til *AAB for Varmblandet Asfalt* [Vejdirektoratet 2006b].

Generelt nævnes det, at der stilles krav til vejbygningsmaterialets kornkurve, bitumen og prøveudtagne borekerner. Mere præcist betyder det (efter valg af materiale) krav til gennemfald, bitumenfyldning, hulrum, stabilitet, deformation samt komprimering. [Vejdirektoratet 2006b]

7. Opfyldelse af tekniske krav

Dette kapitel har til formål at lave en sammenligning mellem asfalt, Densiphalt og beton ud fra de krav, der er til belægningstyper i Danmark, jf. kapitel 6. Den tekniske analyse skal undersøge, hvorvidt Densiphalt eller beton kan være et alternativ til asfalt, og dermed være en ligeså funktionel belægning, jf. kapitel 3.

Kravene opstillet, jf. kapitel 6, repræsenterer ikke entydigt alle krav, der kan danne grundlag for en sammenligning, men det er gruppens vurdering, at de udvalgte giver et repræsentativt billede af, hvilke krav belægninger skal kunne efterleve.

Det vurderes yderligere, at det vil være forsvarligt at benytte kravene både til beton og asfalt, på trods af at disse er lavet til asfalt. Dette skyldes den generelle opfattelse er, at teknisk skal beton- og Densiphaltbelægninger opfylde de samme krav som asfaltbelægninger indenfor områderne sikkerhed, komfort og holdbarhed. Såfremt de alternative belægninger ikke kan opnå minimum samme standard som asfaltbelægninger, vil de ikke blive valgt som fremtidige belægninger.

Kapitlet er opbygget, således de tre belægningstyper løbende vil blive vurderet ud fra de opstillede krav, og slutteligt vil blive opfulgt af en samlet vurdering af de tre belægningstyper. Det er ikke hensigten med kapitlet, at finde et entydigt svar på den bedste belægning, men blot dokumentere om de tre belægningstyper kan leve op til kravene og præcisere, hvilke belægninger, der vil være bedst i hvilke situationer.

Igennem analysen tages der udgangspunkt i flere typer af de tre belægninger. Dette er valgt på baggrund af, at analysen har til formål, at dokumenterer om de tre belægningstyper kan leve op til de danske krav, men også fastlægge hvilken af belægningerne, der vil opfylde kravet bedst. Vælges der for eksempel kun en type af asfalt, ville denne type måske have god friktion, men samtidigt et højt støjniveau. Analysen fokuserer dermed på, hvordan de tre forskellige belægninger på bedst mulig måde vil være stand til at opfylde kravene.

7.1. Friktion

Friktion har en stor rolle med hensyn til trafiksikkerheden, da en tilstrækkelig friktion sikrer bilens stabilitet under kørsel på de danske veje, jf. afsnit 6.1.1, og har derfor stor betydning i valget omkring belægningstype.

Det danske Vejdirektorat har opstillet en række krav til friktionskoefficienten μ ved forskellige hastighedsklasser, hvor det gør sig gældende, at μ skal være større, jo højere hastigheden er.

Det strengeste krav til friktionskoefficienten, jf. afsnit 6.1.1., er dermed $\mu \geq 0{,}5$. Kan belægningstyperne efterleve dette krav, vil det være muligt at anvende de tre belægninger på alle vejklasser i Danmark, såfremt det eneste kriterium er friktionen. Det vælges derfor at undersøge om de tre belægningstyper kan imødekomme netop denne situation.

7.1.1. Asfalt

For at eftervise at det er muligt at udlægge asfalt med en friktionskoefficient, der lever op til det ovenstående krav, er det valgt at tage udgangspunkt i en nyudlagt asfaltstrækning. Strækningen, der er udvalgt, er den midtjyske motorvej, som skal forløbe mellem Herning og Vejle. Strækningen er stadig under anlæggelse, men delstrækningerne Herning – Brande og Give - Riss er åben for trafik og denne vil blive anvendt som dokumentation for, at asfalt kan opnå tilstrækkelig friktion.

Delstrækningerne mellem Herning og Vejle åbnede i 2006/2007 og slidlaget består af skærvemastiks (SMA) [Vejdirektoratet 2008b]. I forbindelse med Vejdirektoratets kontrol af friktion blev strækningen gennemkørt af en ROAR målemaskine af to omgange, juni og december 2007. Resultaterne blev herefter registreret i Vejsektorens InformationsSystem (VIS) og fremgår af Bilag 1 på cd-com. De viste resultater er middelværdien af friktionskoefficienten, målt i det venstre spor, altså nærmest midten. [Vejdirektoratet 2008c]

Som det fremgår af Bilag 1 på cd-rom, er friktionen på strækningen kun enkelte gange under kravet på $\mu \geq 0{,}5$. Den samlede gennemsnitsværdi af friktionskoefficienten er 0,7 og asfaltbelægningen kan derfor efterleve kravet. Dette er endda på trods af, at friktionen kan være tvivlsom de første måneder efter udlægning, da bitumenhinden skal slides af tilslaget [Thøgersen 2008].

At asfalt kan efterleve kravet vækker ingen undren, da asfalt, jf. afsnit 2.1, er det eneste belægningsmateriale, der bliver anvendt i Danmark, hvormed det i sin kraft af en stor udbredelse burde kunne leve op til kravene. Desuden er kravene skrevet ud fra asfalt.

7.1.2. Densiphalt

Da det ikke har været muligt at finde friktionsmålinger af Densiphalt, hvor belægningen er evalueret ud fra friktionskoefficienten, vælges det at tage udgangspunkt i et friktionsindeks målt med en pendulruhedsmåler.

Hvis målingen af friktionen er > 55, betragtes belægningen som tilfredsstillende med hensyn til bremsemulighed, der bør være tilstede ved almindelig trafikforhold. Vejdirektoratet har udført målingen af Densiphaltbelægningen, og middel friktionsindekset blev målt til 60. Densiphaltbelægningen kan dermed opfylde det vejledende krav til friktionen ved almindelige trafikforhold. Gruppen er klar over, at friktionsindeks og friktionskoefficienten ikke umiddelbart kan sammenlignes, men målingerne giver en indikation af, at Densiphalt kan etableres med tilstrækkelig friktion. [Brix 2008]

Endvidere er der udarbejdet udbudsmateriale, der er blevet anvendt i forbindelse med anlæggelsen af et slidlag på en betonbro i Nørresundby. Anlægsarbejdet blev udført som forsøg for blandt andet at teste anvendelsen af Densiphalt. [Vejdirektoratet 2002]

Kravet til Densiphalt, vedrørende friktionen ved det pågældende projekt, var, at Densiphaltbelægningen skulle udlægges med en friktionskoefficient på minimum 0,6.

Det endelige testresultat af belægningen foreligger ikke, men da kravet i udbudsmaterialet har været $\mu \geq 0,6$, må det vurderes, at dette er efterkommet, hvormed det også er muligt at efterleve de gældende krav på $\mu \geq 0,5$, jf. afsnit 6.1.1.

7.1.3. Beton

I og med at friktionen er afhængig af overfladens struktur, og denne etableres efter udlægning af beton, er der mulighed for at etablere en lang række forskellige overfladestrukturer, der alle vil give forskellige friktionskoefficienter. Det vil være for omfattende at undersøge alle, og kapitlet har til hensigt at kortlægge, om betonbelægninger kan leve op til de danske krav. Derfor udvælges der en metode til etablering af overfladestruktur, hvor friktionskoefficienten undersøges. Den udvalgte metode er frilægning af skærver, der har stor udbredelse, jf. afsnit 4.

Ved udlægning af betonbelægning på strækningen Ringsted – Ølby, jf. afsnit 4.1.5, blev en del overfladestrukturen etableret ved en frilægning af skærver. Målinger udført samme år som udlægningen af strækninger påviste en middelfriktionskoefficient, $\mu = 0,8$, hvormed kravet er opfyldt. Efter 20 års drift er strækningens friktionskoefficient faldet til omkring 0,6. [Thøgersen 1997]

Den tilstrækkelige friktionskoefficient ved frilagte skærver underbygges endvidere af svenske erfaringer, hvor friktionen er blevet målt på to svenske betonveje. Over en tidsperiode på omkring seks år har middelfriktionskoefficienten på intet tidspunkt været under det danske krav, men har overordnet befundet sig i intervallet, $\mu = 0,6 - 0,8$. [Petersson 1999]

7.1.4. Resultater

I det følgende findes en præsentation af resultaterne for asfalt, Densiphalt og beton, jf. tabel 7.1.

Tabel 7.1. Middelfriktionskoefficienter for de tre belægningstyper.

	Krav	Asfalt	Densiphalt	Beton
μ	≥ 0,5	0,7	0,6	0,8

Som det fremgår, jf. tabel 7.1, er det muligt for alle tre belægninger at leve op til vejreglernes krav vedrørende friktionskoefficienten. Da friktionskoefficienten er direkte afhængig af overfladestrukturen, vil det i de fleste tilfælde være muligt at etablere en tilstrækkelig friktion. Dette kan hurtigt blive på bekostning af større støjgener og så være med til at fordyre projektet.

7.2. Jævnhed

Jævnheden af en vej har stor betydning for brugerens oplevelse af vejen. Er vejen ujævn, forringes køreoplevelsen i form af ringe komfort, men også selve trafiksikkerheden kan blive forringet og dermed sætte brugerens liv på spil, jf. afsnit 6.1.2.

For at sikre en tilfredsstillende jævnhed, har Vejdirektoratet udarbejdet en række krav, der gælder for nyanlæg og strækninger i brug. Der findes forskellige evalueringskriterier, jf. afsnit

6.1.2, hvormed det er nødvendigt at vælge, hvilket kriterium, der skal danne baggrund for sammenligningen.

Vejdirektoratet anvender en profilograf til at måle jævnheden af de danske vejstrækninger. Jævnheden bliver normalt udtrykt ved hjælp af IRI-tallet (International Roughness Index), hvorefter dette bliver indført i VIS-databasen. Det vælges derfor at anvende situationen vedrørende veje i drift, da netop IRI er evalueringskriteriet.

Det strengeste krav til IRI-værdien er i intervallet 3,5 – 4,5 m/km. Det skal nævnes at værdier over 2 m/km normalt anses for værende mindre gode, jf. afsnit 6.1.2.

7.2.1. Asfalt

Det vælges igen at tage udgangspunkt i den kommende motorvejsstrækning mellem Herning og Vejle, hvor slidlaget er skærvemastiks. Strækningen er senest blevet gennemkørt af profilografen i 2007, med de angivne resultater, jf. Bilag 2 på cd-rom. Resultaterne er middelværdien fra begge vognbaner.

Som det fremgår af Bilag 2 på cd-rom er den gennemsnitlige IRI-værdi for strækningen på 0,97 m/km. Dermed kan asfalt efterleve kravet, hvilket også var forventet, da strækningen er forholdsvis nyanlagt.

Resultatet korrelerer ganske godt med den forventede værdi af IRI ved en nyanlagt asfaltvej, der ligger mellem 0,5 – 1 m/km. Endvidere har en analyse vist, at en række danske motorvejsstrækninger, som efter mere end et år i drift, har en gennemsnitlig IRI-værdi under 1,5 m/km. [Schmidt 2003]

Asfalt lever dermed også op til den grænseværdi på 2 m/km, hvor belægninger med værdier højere end 2 m/km, anses for mindre gode.

7.2.2. Densiphalt

Med hensyn til jævnhed, er problemstillingen den sammen som ved friktionsmålingerne, der eksisterer ikke målinger i VIS-databasen. Kriteriet om hvorvidt Densiphalt kan efterleve kravet, må derfor bero på en vurdering.

I og med at jævnheden kan henføres direkte til underlaget og selve udlægningen af slidlaget, jf. 6.1.2, vurderes det, at Densiphalt ikke vil have problemer med at opflyde kravet. Dette antages på baggrund af, at hovedbestanddelen i Densiphalt er asfalt, hvorfor det er muligt at udlægge Densiphalt med samme jævnhed som asfalt, da der anvendes nøjagtigt samme udlægningsmateriel. Underlagets indvirkning på jævnheden må antages at have mindre betydning ved Densiphalt end ved asfalt, hvilket vil være medvirkende til at forebygge ujævnheder. Dette antages på baggrund af Densiphalts større bæreevne, hvoraf de belastninger, der kan trænge ned i underlaget ved asfalt og forårsage deformationer, ikke kan opstå i samme omfang ved Densiphalt.

7.2.3. Beton

Ved de danske betonveje har der været problemer med udlægningen, jf. afsnit 4.1, hvilket har betydning for jævnheden af vejen. Strækningen mellem Ringsted – Ølby havde en IRI-værdi mellem 2 og 5 m/km i 1996, hvilket er utilstrækkeligt. Det skal nævnes, at værdierne i 1996 er efter 20 års levetid, hvilket naturligvis har haft indflydelse på IRI-værdien. [Thøgersen 1997]

Betonmotorvejsstrækningen på Lolland, mellem Gundslev og Ønslev, blev målt med hensyn til jævnheden i 2005, efter 21 års brug. Her er den gennemsnitlige IRI-værdi for alle vognbaner cirka 2 m/km. [Thøgersen 2006]

Da der ikke forefindes jævnhedsmålinger af de to strækninger evalueret efter IRI-værdien, umiddelbart efter anlæggelse, vælges det at tage udgangspunkt i udenlandske betonveje, hvor vejene er udlagt efter nyere metoder.

I Sverige, lidt nord for Stockholm, har Vägverket udført jævnhedsmålinger på en betonvej med tværfuger ved Arlanda, der er anlagt i 1990. Jævnhedsmålingerne er udført efter at vejen har været i brug i tre år og i de følgende syv år. Første måling i 1993 viste at IRI-værdien var på cirka 1 m/km, hvilket lever op til de danske krav. Efter 10 års brug er IRI-værdien steget en smule, til 1,2 m/km, men værdien er dermed stadig under kravene. [Hultquist og Carlsson 2002]

De svenske jævnhedsmålinger af betonvejen ved Arlanda underbygges endvidere af en anden svensk betonvej, nord for Helsingborg, ved Falkenberg. Her er det lykkedes at etablere en betonvej med tværfuger, hvor IRI-værdien efter syv års levetid ligger mellem 0,8 – 1,2 m/km. [Petersson 1999]

7.2.4. Resultater

Resultaterne fra sammenligningen af de tre belægningstyper med hensyn til jævnhed fremgår, jf. tabel 7.2.

Tabel 7.2. Gennemsnitlige IRI værdier for Asfalt, Densiphalt og Beton.

	Krav	Asfalt	Densiphalt	Beton
IRI Værdi [m/km]	<3,5 – 4,5 (2)	0,97	0,97	1

Det er dermed ikke et problem for de tre belægningstyper at opfylde kravet fra vejreglerne.

De tre IRI-værdier er alle i et meget lille interval, hvormed det er svært at fremhæve netop én belægning. Da jævnhed blandt andet er et udtryk for komfort, antages det, at Densiphalt vil være at foretrække, hvis jævnhed er udvælgelseskriteriet. Dette vurderes ud fra, at det er muligt at udlægge Densiphalt med samme jævnhed som asfalt, men på grund af Densiphalts større bæreevne, må det formodes at Densiphalt belægningen vil være i stand til at bevare jævnheden længere end asfaltlaget.

Resultaterne med hensyn til betonbelægninger viser, at det er mulig at udlægge beton med en meget tilfredsstillende IRI-værdi. En ting, der taler imod beton med hensyn til jævnhed, er tværfugerne. Disse er oftest incitamentet for ikke at anlægge betonveje, da brugerne oplever et

bump i bilen, hver gang en tværfuge passeres. Målingerne tyder på at problemet er blevet mindre.

7.3. Profil

Profilets udformning skal sikre at vejen afvandes optimalt, så der ikke opstår uheldige situationer med vand på vejbanen, som for eksempel ved aqua-planing, hvor trafikantens sikkerhed mindskes.

Kravene henvender sig til ujævnheder i profilet. Disse skal kontrolleres med en 1 m retskede, hvor afstanden mellem retskeden og vejoverfladen ikke må overstige 3 mm. Endvidere er der krav til sporkøring, hvor der intet sted på strækningen må være spordybder på mere end 10 mm, jf. afsnit 6.1.3. Da sporkøring opstår på grund af gentaget slid, især fra den tunge trafik, giver det ikke mening at sammenligne tre nyanlagte strækninger, da disse endnu ikke har været udsat for trafikbelastning. Det vælges derfor at evaluere sporkøringskriteriet ud fra strækninger, der har været i drift i længere tid.

7.3.1. Asfalt

Asfalt kan udlægges med en præcision på 3 mm mellem vejoverflade og en 3 m retskede. Dette overgår det danske krav, da dette måles med en 1 m retskede. [Amdi 2008]

Med hensyn til sporkøring, er det valgt, at tage udgangspunkt i en eksisterende strækning, der har været i drift i ni år og dermed udsat for trafikbelastning. Den valgte strækning er Aalborg – Frederikshavn motorvejen, men da denne strækning er udlagt i flere etaper, vælges det at se nærmere på en delstrækning på cirka 8 km, hvor slidlaget er udlagt i 1999. På denne strækning er årsdøgnstrafikken cirka 15.000 og lastbilprocenten mellem 10 - 15 procent. Strækningen er senest blevet målt for sporkøring med en profilograf i 2007, hvilket vil sige efter otte års brug. Sporkøringsmålingerne forefindes i Bilag 3 på cd-rom og er foretaget for begge vognbaner. [Vejdirektoratet 2008c]

Som det fremgår af Bilag 3 på cd-rom, er den gennemsnitlige sporkøring på strækningen cirka 3 mm. Den maksimale værdi for sporkøring er 6 mm og det kan derfor, i den pågældende situation, konkluderes, at asfalt kan opfylde de danske krav, også efter otte års brug.

7.3.2. Densiphalt

Densiphalt kan udlægges med en præcision på 3 mm mellem vejoverflade og en 3 m retskede. Dette overgår det danske krav, da dette måles med en 1 m retskede. [Amdi 2008]

Det har ikke været muligt at finde oplysninger om sporkøring. Det antages derfor, at Densiphalts egenskaber, med hensyn til at modstå sporkøring, er væsentlig bedre en asfalt, men ringere end beton. Baggrunden for dette er, at Densiphalt har større bæreevne end asfalt, men trods alt er et kompositmateriale, imellem de to nævnte belægningstyper, hvorfor evnen til at modstå sporkøring må være mindre end betons.

7.3.3. Beton

Det vælges at tage udgangspunkt i en svensk betonvej lidt vest for Stockholm ved Eskilstuna, for at undersøge om betonveje kan udlægges med den ønskede præcision. Efter udlægning af betonvejen er profilet blevet kontrolleret med en 3 m retskede. Vägverket kræver, at afstanden mellem vejoverfladen og retskeden ikke må overskride 3 mm, i tre fast definerede punkter på retskeden. Ved denne undersøgelse blev der foretaget 22 målinger, jævnt fordelt over hele strækningen. De enkelte målinger har ikke været tilgængelige, men undersøgelsen viste, at betonvejen levede op til kravet ved samtlige af de 22 test steder. Det vurderes derfor, at det er muligt at efterleve de danske vejregler. [Hultquist & Carlsson 2002a]

De danske betonveje bygget i 1980'erne har bevist, at beton er meget modstandsdygtig overfor sporkøring, da beton er en fast belægning. Strækningen på Lolland, mellem Gudslev og Ønslev, jf. afsnit 4.1.5, er senest blevet målt for sporkøring i 2007, jf. Bilag 4 på cd-com. På strækningen er årsdøgnstrafikken varrierende mellem 12.000 til 20.000 køretøjer og lastbilprocenten er i intervallet 10 – 15 procent. [Vejdirektoratet 2008c]

Som det fremgår, jf. Bilag 4 på cd-rom, er den gennemsnitlige sporkøring på strækningen 3,75 mm, på trods af at strækningen har været i brug i 24 år. Kravet foreskriver, at der på intet sted på strækningen må være over 10 mm i sporkøring. På betonstrækningen overskrides dette krav én enkelt gang hvor sporkøringen er 11 mm. Resterende målinger overskrider ikke 7 mm, hvorfor det ene udfald ikke nødvendigvis kan henføres til betonbelægninger generelt. Set i lyset af de indtil videre 24 års levetid, vurderes beton derfor, som værende meget modstandsdygtig over for sporkøring.

7.3.4. Resultater

Som det fremgår af analysen, kan alle tre belægningstyper udlægges med en sådan præcision at vejreglernes krav om, at der maksimalt må være 3 mm mellem vejoverfladen og en 1 m retskede opfyldes.

Da sporkøring hovedsagelig afhænger af trafikbelastningen, kan det være svært at lave en umiddelbar sammenligning ved at evaluere eksisterende strækninger. Dette er dog forsøgt ved at sammenligne to strækninger med omtrentlig samme trafikbelastning.

Analysen har vist, at efter en levetid på otte år, er asfalt på det mest kritiske punkt stadig 4 mm fra at overskride det danske krav, der foreskriver en sporkøring på makimalt 10 mm. Beton overskrider kravet med 1 mm et punkt på strækningen, men det resterende data er som minimum 3 mm fra at overskride kravet. Dette er på trods af en levetid, der på nuværende tidspunkt er 24 år.

Beton vurderes derfor som værende mest modstandsdygtig over for sporkøring, da der over en 24-årig periode kun er opstået ét problem med for stor sporkøring på evalueringsstrækningen.

Asfalt har ikke overskredet kravet, men da denne belægning allerede efter otte år har sporkøring på 6 mm, må det formodes, at asfalt ikke vil være i stand til at opfylde kravet efter endnu 16 år i drift.

At beton er mest modstandsdygtig over for sporkøring er forventet, da beton er et fast materiale i modsætning til den fleksible asfalt, der dermed lettere deformeres ved trafikbelastninger. Påstanden underbygges endvidere af en svensk undersøgelse, der har påvist, at sporkøringen er mindre på beton end på asfalt [Petersson 1999].

Densiphalt må også formodes at være mere modstandsdygtig over for sporkøring i forhold til asfalt, da belægningen, jf. kapitel 5, bliver tilsat mørtel der forøger bæreevnen og dermed gør den mere modstandsdygtig over for deformationer. Da Densiphalt er en semi-fleksibel belægning, indeholdende asfalt, er det gruppens vurdering, at belægningen ikke er lige så modstandsdygtig overfor sporkørng som beton.

7.4. Lyshed

Lysheden af en vej er også en faktor, der kan have betydning for trafiksikkerheden. Jo lysere en vej er, desto lettere har trafikanten ved at orientere sig og følge vejens forløb. En tilstrækkelig lyshed kan enten sikres ved at vælge en lys belægning eller ved hjælp af belysning, jf. afsnit 6.1.4.

Der findes ingen danske krav med hensyn til en vejs lyshed, men i tilfælde af at det ønskes, kan der opstilles krav til de lystekniske egenskaber for henholdsvis en belyst eller ubelyst vej. Det har dog ikke været muligt at finde en luminansfaktor for alle tre belægninger.

Analysen vil derfor tage udgangspunkt i en beskrivelse af hvorvidt det er muligt at anlægge de tre belægningstyper med en lys overflade og ud fra denne, vurdere hvilken der vil være mest fordelagtigt at vælge, hvis det er lyshed, der er udvælgelseskriteriet.

7.4.1. Asfalt

Asfalt reflekterer hovedsagelig lyset ved hjælp af spejling. Dette betyder, at den vinkel hvorpå lyset rammer vejoverfladen, bliver den nøjagtig samme vinkel hvorpå lyset reflekteres. Denne situation gør, at en asfaltvejs lyshed er begrænset i forhold til materialer som beton. [Gajda & VanDeem 2001]

For at øge refleksionen af lyset på en asfaltvej, kan der tilsættes et lyst tilslag, hvormed vejoverfladen skifter fra den karakteristiske mørke overflade til en mere lys, jf. figur 7.1 og figur 7.2.

Figur 7.1. Asfalt uden lyst tilslag på en lokalvej.

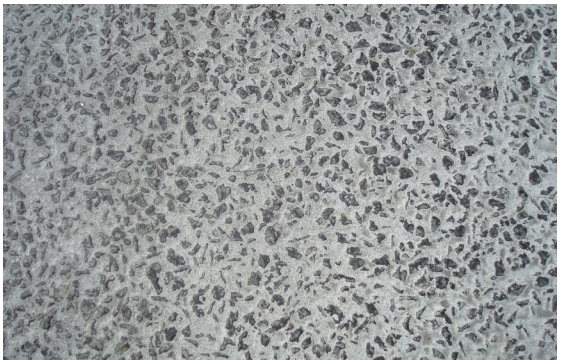
Figur 7.2. Asfalt med lyst tilsslag på en lokalvej.

Det lyse tilslag forbedrer asfaltens lyshed men vil samtidig øge anlægsomkostningerne.

7.4.2. Densiphalt

Densiphalt er grundlæggende en asfaltbelægning, der slutteligt opslemmes med Densiphaltmørtel, jf. kapitel 5. Dette gør, at belægningens lyshed ændres betragteligt i forhold til asfalt, jf. figur 7.3 og figur 7.4.

Figur 7.3. Asfaltbelægning på lokalvej.



Figur 7.4. Densiphaltbelægning ved Vingårdsgade.

Efter besigtigelse af Densiphalt, umiddelbart efter udlægning, er den færdige overflade af Densiphalt nærmest ligeså lys som en betonbelægning. Denne effekt ser ud til at aftage med tiden, efter besigtigelse af Densiphaltbelægningen i Vingårdsgade i Aalborg, jf. kapitel 5. Her er det øverste tynde lag af Densiphaltmørtlen slidt af, jf. figur 7.4, hvorfor tilslaget er mere tydeligt. Dermed vil Densiphaltbelægningen ikke være ligeså lys som en betonbelægning, men stadig lysere end en asfalt på grund af Densiphaltmørtlen.

7.4.3. Beton

En betonbelægning fremstår meget lys i forhold til asfalt og vil dermed også være bedre til at reflektere lyset. Grundet betonens lyse overflade i forhold til asfalt, jf. figur 7.5 og figur 7.6, reflekteres lyset hovedsagelig diffust. Dette gør, at når lyset rammer vejoverfladen, reflekteres det i alle retninger i modsætning til spejling, hvorfor diffust refleksion foretrækkes frem for spejling, jf. afsnit 6.1.4. På grund af den diffuse refleksion skal der anvendes mindre belysning på en betonvej, i forhold til en asfaltvej, hvormed anlægsomkostninger og vedligeholdelsesudgifter vil værre mindre. [Gajda & VanDeem 2001]

Figur 7.5. Asfaltbelægning på lokalvej.

Figur 7.6. Betonbelægning på lokalvej,USA.

7.4.4. Resultater

I og med at der ikke er nogle helt konkrete krav med hensyn til lyshed af belægninger, må vurderingen om, hvorvidt hvilken belægning der vil være mest fordelagtig at vælge, tages ud fra sikkerhedsmæssige og økonomiske hensyn. Det vurderes at en lysere belægning giver bedre trafiksikkerhed og kræver mindre belysning end en mørk belægning. Det bedste valg vil derfor være beton efterfulgt af Densiphalt og slutteligt asfalt.

7.5. Støj

Støj har ikke mindst betydning for bilisternes komfort, men har også en stor betydning for den omkringliggende bebyggelse, der kan blive generet af et højt støjniveau, jf. afsnit 6.1.5. Den støj, der kan henføres til belægningen, er støjen, der opstår mellem dæk og vejoverfladen.

Som ved lyshed er der ingen generelle krav til støjegenskaberne for veje. I tilfældet at det ønskes at reducere støjen, er der udarbejdet specifikke støjklasser, jf. afsnit 6.1.5. I og med at mindre støj giver mindre gene for naboer og bedre komfort for bilister, vælges det i analysen, at tage udgangspunkt i at undersøge, hvor lavt et støjniveau de tre belægninger kan udføres med.

7.5.1. Asfalt

Inden for asfaltbelægninger er der en serie af asfaltprodukter, der alle har til formål at sænke støjniveauet. Fælles for belægningerne er, at de alle har en åben struktur i overfladen og en lille maksimal stenstørrelse, der henholdsvis reducerer luftpumpning og dækvibrationer. Overordnet kan produkterne opdeles i to kategorier:

- Tynde slidlag der er den nye generation af støjreducerende slidlag (SRS).
- Ét og to-lags drænasfalt.

Ifølge producenten vil de to typer kunne reducere støjen med op til 5 dB, jf. tabel 7.3. Reduktionen er set i forhold til en standard AB tæt belægning, der er en almindelig udbredt asfaltbelægning. [Colas 2008a]

Tabel 7.3. Støjreduktion i forhold til AB 11t. [Colas 2008]

Belægningstype	Støjreduktion i forhold til AB 11t (dB)
SRS-belægninger	1 til 4 dB
Ét-lags drænasfalt	3 til 4 dB
To lags drænasfalt	4 til 5 dB

At SRS belægningerne skulle være i stand til at reducere støjniveauet, underbygges endvidere af tests udført på en forsøgsstrækning på M10 ved Solrød. Her blev der i 2004 udlagt fire forskellige SRS-belægninger og en AB 11t som referencebelægning. Strækningen blev efterfølgende evalueret med hensyn til støjreducering. [Andersen et al. 2004]

Resultatet blev, at de fire SRS belægninger kunne reducere støjen i intervallet fra cirka 1 dB til knap 3 dB, i forhold til AB 11t og hvor der var korrigeret for eventuelle forskelle i trafikfordelinger [Andersen et al. 2004]. De vejledende støjreduceringer, jf. tabel 7.3, vurderes derfor som reelle, da de forventede værdier korrelerer godt med de faktiske reduceringer.

7.5.2. Densiphalt

Densiphaltdræn er som nævnt, jf. kapitel 5, en hulrumsrig drænasfalt og er hovedbestanddelen i Densiphalt. Da drænasfalt, jf. afsnit 7.5.1, betragtes som værende støjreducerende, må en del af den støjreducerende egenskab blive overført til Densiphaltlaget. Hulrummet bliver ganske vist udfyldt af Densiphaltmørtel, men et skøn på en støjreduktion, i forhold til en AB tæt belægning, er en reduktion på op til 3 dB. [Amdi 2008]

Det har ikke været muligt at undersøge denne påstand nærmere, da der ikke er tilgængelige støjmålinger af Densiphalt. Yderlige er Vejdirektoratet blevet kontaktet for at undersøge muligheden for at lave egne støjmålinger. Dette er ikke en mulighed, da det er nødvendigt med kontinuert trafik ved SPB målinger (Statistical PassBy) og over en længere tidsperiode, for at opnå et tilstrækkeligt datagrundlag. Yderligere kan støjmålingerne foretages ved CPX målinger, men her skal test strækningen være min. 400 m. CPX målingerne er bekostelige og der findes kun én målevogn i Danmark, der er på Sjælland. Dermed har det ikke været muligt for projektgruppen at foretage nogle støjmålinger. [Ertman 2008]

7.5.3. Beton

Det høje støjniveau fra betonbelægninger har altid været et problem og har blandt andet resulteret i, at de engelske vejmyndigheder påkrævede at alle betonbelægninger skulle overlægges med asfalt for at reducere støjen, jf. afsnit 2.3

At beton har højere støjniveau end en almindelig asfaltvej, har også vist sig ved støjmålingsforsøg på danske strækninger. Strækningen mellem Ringsted og Ølby blev anlagt som forsøgsstrækning med henblik på at afprøve forskellige overfladestrukturer, jf. afsnit 4.1.5. Støjmålingerne viste, at riller på tværs af betonbelægningen ikke er at foretrække med hensyn til støjniveauet, men at derimod frilagte skærver kun giver en begrænset forøgelse af støjniveauet, jf. tabel 7.4.

Tabel 7.4. Lydtrykniveau af betonbelægning. [Thøgersen 1997]

	Asfalt (dB)	Beton, frilagte skærver(dB)
Tændt motor målt inde i bil	71	73
Slukket motor målt inde i bil	67	70
Tændt motor uden for bil	73	74
Slukket motor uden for bil	73	74

Som det fremgår, jf. tabel 7.4, er der tale om en forøgelse af støjniveauet på mellem 1 til 3 dB, i forhold til referencestrækningen, der er AB belægning.

Senest er det lykkedes at etablere en betonvej med frilagte skærver i Sverige, hvor undersøgelser har vist, at støjniveauet er 1 – 3 dB under en normal asfaltvej [Mellgren 2007]. Her er det ikke opgivet hvilken type asfalt der er anvendt som reference.

7.5.4. Resultater

Da der ikke er tale om én stor samlet undersøgelse af støjniveauet af de tre belægningstyper, kan det være svært at lave en umiddelbar sammenligning, da støjniveauet er afhængig af

blandt andet hastighed, måleudstyr og trafikfordeling, hvormed disse faktorer kan varierer fra gang til gang.

På trods af dette, tegner der sig et billede af, at asfalt er den belægningstype, der kan give den største støjreduktion. Den nye generation af SRS-belægninger kan reducere støjen med optil 3 dB ifølge udførte forsøg, og drænasfalt kan ifølge producenten reducere med op til 5 dB. Det skal bemærkes, at drænasfalt kan være problematisk om vinteren og kræver vedligeholdelse /rensning hvis støjniveauet skal forblive lavt [Colas 2008].

Densiphaltbelægningen formodes at kunne reducere støjen med op til 3 db. Det samme skulle være gældende for betonbelægninger, men den nødvendige dokumentation har ikke været til rådighed i begge tilfælde.

7.6. Holdbarhed

Holdbarheden af en vej har betydning for levetiden, og kan derfor give en indikation af hvor ofte belægningen skal gennemgå reparationer. Er holdbarheden af belægningen ikke tilstrækkelig til den pågældende trafikbelastning, vil det efter kort tid være nødvendigt med reparationer, der både skaber gene for brugerne men også er uøkonomisk, jf. kapitel 1.

Vejreglerne stiller konkrete krav til kvaliteten af asfalten, ved at præcisere det nøjagtige indhold af tilslag, hulrum, og bitumen i asfalten og senere efter udlægning foretage tests af borekerner. Denne analyse tager udgangspunkt i bæreevnen af de tre belægninger, men vil også præcisere den forventede levetid, og dermed hvor ofte belægningerne skal undergå større reparationer.

Projektgruppen er klar over, at holdbarheden ikke ligger i de øverste lag alene, men at de underliggende lag har stor betydning for holdbarheden af en vej. Dette indgår ikke i analysen, da det ligger uden for projektets omfang, jf. kapitel 3.

Vejmaterialers bæreevne kan evalueres i E-værdien (MPa), der er et udtryk for et materiales stivhed, hvor en høj E-værdi er ensbetydende med en større bæreevne. [Wikipedia 2008a]

7.6.1. Asfalt

Der findes mange forskellige asfalttyper, der hver især har deres individuelle bæreevne. Endvidere gælder det også at jo tykkere laget udlægges, desto større bæreevne opnår laget.

ABB og GAB II er nogle af de lag, der har en E-værdi på 5.000 MPa, hvis de udlægges i en tykkelse på over 10 cm. Et af de stærkeste slidlag er en SMA. Denne type asfalt har en forventet E-værdi på 3.000 MPa, hvis den udlægges efter de gældende udbuds- og anlægsforskrifter. [Vejdirektoratet 2007a]

Danske erfaringer har vist, at et slidlag gennemsnitlig skal udskiftes hver 12. år, jf. kapitel 1. Dette skyldes, at laget herefter vil have for store deformationer, så som ujævnheder og sporkøring, der er opstået på grund af trafikbelastningen. I og med at asfaltlagene under slidlaget har en større bæreevne, er det ikke nødvendigt at udskifte disse. Når et nyt slidlag er udlagt, vil strækningen atter fremstå som nyanlagt.

7.6.2. Densiphalt

Det har ikke været muligt at få adgang til informationer om Densiphalts E-værdi, hvorfor der tages udgangspunkt i vejreglernes forventede bæreevne af en semi-fleksibel belægning. Denne er 8.000 MPa. [Vejdirektoratet 2007a]

Da det ikke er specificeret, hvilken type semi-fleksibel belægning, der er tale om, kan der være visse usikkerheder omkring denne. Men da styrken er væsentlig større end skærvemastiks, vurderes E-værdien til at have en vis rigtighed.

På grund af større bæreevne, antages det, at Densiphaltbelægningen ikke skal udskiftes hvert 12. år, hvilket er tilfældet ved asfalt, jf. afsnit 7.6.1. Den større bæreevne opnås på grund af Densiphaltmørtlen, der giver belægningen en større stivhed, hvorfor det vurderes at levetiden af Densiphalt vil ligge omkring midt imellem en asfalt- og betonbelægning. Dette giver en forventet levetid på 20 år, da asfalts er 12 år, jf. afsnit 7.6.1 og betons er 30 år, jf. afsnit 7.6.3.

Med hensyn til udskiftningen vil det, som ved asfalt, kun være nødvendigt at udskifte selve Densiphaltlaget, hvorved de eksisterende lag kan genanvendes indtil disse også undergår deformation. [Amdi 2008]

7.6.3. Beton

Med hensyn til bæreevnen af betonbelægninger, og dermed holdbarheden, foreskriver de danske vejregler, at E-værdien vil være 35.000 MPa [Vejdirektoratet 2007]. Dette korrelerer meget godt med den E-værdi, der anvendes i Wisconsin på cirka 29.000 MPa [WisDOT 2008a]. Disse værdier vil som ved asfalt kunne variere, alt efter hvor stor en styrke der ønskes, men giver stadig en god indikation af den forventede øgede styrke og ikke mindst stivhed i forhold til asfalt.

De danske erfaringer med betonveje, jf. afsnit 4.1, har påvist, at levetiden kan være meget varierende. Dette skyldes først og fremmest problemer med udlægning og blandingsforhold. En af de strækninger, hvor det er lykkedes at etablere en betonvej, er mellem Gundslev og Ønslev på Lolland. Betonvejen blev anlagt i 1984 og i dag, 24 år efter, er vejen stadig i brug og har kun undergået mindre reparationer. Belægningen står dog i den nærmeste tid over for en totalrenovering, jf. afsnit 4.1.

En undersøgelse af betonbelægningers levetid i en række stater i USA har vist, at denne kan være op til 25 – 40 år, hvor blandt andet staten Minnesota forventer en levetid på 35 år uden større reparationer. [Packard 1994]

I Wisconsin forventes levetiden af en betonbelægning mindst at være 25 år, før der skal udføres omfattende belægningsarbejde. Men også her ses der stor variation, hvor der i år 2008 er påbegyndt reparation af en betonindfaldsvej, der har haft en levetid på 45 år. [Neuhauser 2008]

På baggrund af ovenstående vurderes det som værende rimeligt, at en dansk betonvej, bygget efter de nyere metoder, vil have en levetid på 30 år, uden større reparationer.

Når betonbelægningens levetid er nået, er det nødvendigt at udføre reparationer af betonvejen. En mulighed er at fjerne betonvejen totalt og derefter reetablere den. En anden mulighed er at overlægge den med asfalt eller et nyt tyndt lag beton (Whitetopping). Der kan opstå problemer ved at udlægge asfalt på beton, da tværrevnerne efterhånden vil slå igennem asfaltlaget og dermed medføre ujævnheder. Dette kan forhindres ved, at udføre Rubbilizing, der knuser betonbelægningen til mindre stykker, hvorved eventuelle pladebevægelser hindres. [WisDOT 2007]

7.6.4. Resultater

I det følgende findes en præsentation af resultaterne for asfalt, Densiphalt og beton, jf. tabel 7.5.

Tabel 7.5. Resultater vedrørende holdbarhed af de tre belægningstyper.

	Asfalt	Densiphalt	Beton
E-værdi (MPa)	3.000 – 5.000	8.000	35.000
Forventet levetid uden større renoveringer. (År)	12	20	30

Betonbelægningerne er den belægningstype, der har langt den største bæreevne og levetid uden større reparations arbejder, jf. tabel 7.5. Dette var forventet, da beton er overlegen over for fleksible belægninger med hensyn til bæreevne.

Den store forskel på E-værdien vil reelt ikke være så stor. Dette skyldes at beton, jf. afsnit 4.2, udlægges direkte på stabilt grus men at asfalt og Densiphalt har mellemliggende lag, der samlet set er med til at øge E-værdien, så forskellen mellem de tre belægninger vil mindskes.

Asfalt og Densiphalts styrke ligger i, at det kun er nødvendigt at udskifte det øverste slidlag, hvorefter belægningen vil være fuld funktionsdygtig igen.

7.7. Sammenfatning

Igennem den tekniske analyse, er det dokumenteret at alle tre belægningstyper vil være i stand til at leve op til de danske vejregler. Det var især forventet med hensyn til asfalt, da kravene er opbygget omkring asfalt.

Som det fremgår gennem analysen, har hver af belægningerne deres fordele, og hvor den ene belægningstype har en stor fordel ved et krav, kan belægningen blive overgået ved næste krav. Det er derfor ikke muligt, at komme med et entydigt svar, med hensyn til hvilken belægning der vil være bedst, men at dette tværtimod, skal vurderes ved hvert enkelt projekt, hvor det skal være klart, hvad der skal vægtes højt. Analysen har bevist at de tre belægninger alle vil kunne anvendes til vejbygning i Danmark.

Nedenstående viser en samlet opgørelse af resultaterne, jf. tabel 7.6, hvor det er forsøgt at pointere hvilken belægningstype, der vil være fordelagtig at vælge, hvis et bestemt krav vægtes højest.

Tabel 7.6. Samlet vurdering af de tre belægninger.

Krav	Asfalt	Densiphalt	Beton
Friktion	x	x	x
Jævnhed	x	x	
Profil		x	x
Lyshed			x
Støj	x		
Holdbarhed			x

Som det fremgår tabel 7.6 af er det umiddelbart betonbelægningen, der rammer flest anvendelsesområder som det bedste alternativ, men i et reelt belægningsvalg vil jævnhed sandsynligvis blive valgt frem for lyshed, hvorfor belægningerne er meget lige.

Resultaterne vurderes som troværdige, da størstedelen af dem er fundet ud fra forsøg udført på allerede eksisterende strækninger. Ved Densiphalt har erfaringsgrundlaget været meget begrænset, hvorfor der kan være usikkerheder i vurderingerne vedrørende Densiphalt.

SAMFUNDSØKONOMISK ANALYSE

Det økonomiske synspunkt kan være en yderligere indgangsvinkel til, hvorvidt det vil være fordelagtigt med et alternativ til asfalt. I Danmark er der ingen traditioner for at anvende samfundsøkonomiske analyser ved belægningsvalg mellem forskellige vejbelægningstyper. Derfor udarbejdes der i denne sektion en samfundsøkonomisk analyse af Densiphalt og beton i forhold til asfalt. Sektionen indeholder en række beskrivelser af to udvalgte scenarier og forudsætninger og slutteligt præsenteres resultatet af analysen. For at underbygge resultatet udføres der endvidere en følsomhedsanalyse, der har til formål, at klarlægge robustheden af resultatet.

8. Samfundsøkonomisk analyse – teori

I flere udvælgelsesprocesser er det ikke altid er nok med en teknisk sammenligning ved valg mellem forskellige projekter eller i denne rapport vejbygningsmaterialer. Dette begrundes med den øgede fokusering i samfundet på medfølgende effekter ved valg af anlægsprojekter og forpligtelsen til at se på helheden i sådanne projekter af større betydning.

I Danmark benyttes samfundsøkonomiske analyser normalt ikke ved udvælgelse af vejbygningsmaterialer. Derfor er det interessant at undersøge, hvilken betydning en samfundsøkonomiskanalyse mellem forskellige alternativer af belægninger vil få for valg af belægning, jf. kapitel 3, hvorfor dette kapitel omhandler den generelle teori bag samfundsøkonomiske analyser.

I dette kapitel gennemgås, hvorledes den samfundsmæssige betydning kan inddrages ved udvælgelse mellem forskellige projekter eller som her, vejbygningsmaterialer, samt hvordan en prioritering mellem disse kan foretages. Dermed gennemgås kun den generelle viden angående samfundsøkonomiske vurderinger, deres anvendelse, evalueringskriterier og beregningsparametre.

8.1. Formål og anvendelse

Da samfundet ikke har ubegrænsede ressourcer, er det nødvendigt at foretage en økonomisk vurdering ved valg mellem givne projekter, her vejprojekter, således det er muligt at vælge det økonomisk mest fordelagtige. Dette valg mellem vejbygningsmaterialer og prioritering mellem disse skal foretages hensigtsmæssigt, så der sker en systematisk vurdering af projekternes fordele og ulemper.

En samfundsøkonomisk analyse vil dermed være et værktøj i den politiske prioriteringsproces, der kan hjælpe med at klarlægge konsekvenserne ved forskellige projekter og dermed forbedre beslutningsgrundlaget.

Indenfor Transportministeriets område er der en tradition for at udarbejde samfundsøkonomiske analyser for sammenligning mellem eksempelvis forskellige infrastrukturprojekter. Her benyttes analyserne og disses resultater til det interne arbejde og prioriteringer (embedsmandsniveau), den politiske beslutningsproces og formidlingen i relation til offentligheden. [Trafikministeriet 2003]

8.2. Typer af analyser og evalueringskriterier

Der findes flere metoder til at opgøre de samfundsmæssige omkostninger og effekter. Årsagen til dette er, at der kan være stor forskel på de projekter, hvor metoderne benyttes til sammenligning. Endvidere er det i flere tilfælde ikke muligt at opgøre delelementer i forhold til hinanden, enten såfremt nogle elementer ikke er værdisat på samme vis eller det ikke er muligt at værdisætte dem. Fire af metoderne for samfundsmæssig sammenligning er som følger [Johannsen 2007], [Finansministeriet 1999]:

- Flerdimensional Sammenligning (MDC eller Multi-Dimensional Comparison). De medtagne effekter opgøres hver især enten monetært, kvantitativt eller kvalitativt efter veldefinerede, systematiske principper.
- Multi-Kriterie Analyse (MCA), hvor der foretages en form for sammenvejning ved hjælp af vægte for vurderingen af de enkelte effekter til et samlet kriterium, som alle projekter kan rangordnes efter.
- Cost-Benefit Analyse (CBA), hvor samtlige effekter værdisættes i monetære enheder, som adderes til en samlet værdi af projektet.
- Cost-Effectiveness Analyse (CEA), der benyttes som alternativ til en CBA i tilfælde, hvor det er vanskeligt at værdisætte fordelene ved projekter, hvorfor omkostningerne her sættes i forhold til opfyldelsen af et givet mål.

De tre ovenstående metoder sammenligner de enkelte projekter ved en værdisætning, som enten er monetær, således de direkte kan sammenlignes som økonomiske parametre. De kan også opgøres kvantitativt, hvor de enkelte delelementer i analysen optælles og rangordnes ud fra optællingen og en nærmere defineret værdisætning af denne. Den tredje måde er en kvalitativ opgørelse, der vil betyde en mere flydende rangordning. Endelig kan der foretages en verbal beskrivelse af delelementerne og deres betydning, såfremt det ikke er muligt at foretage rangorden på anden vis. Den verbale beskrivelse benyttes også som supplement til en værdisætning.

I dette projekt benyttes en cost-benefit analyse, da dette er den mest benyttede indenfor vejområdet i Danmark, hvorfor der i det følgende kun vil blive fokuseret på elementer i en sådan samfundsøkonomisk analyse. [Trafikministeriet 2003]

I en cost-benefit analyse forsøges det at værdisætte samtlige effekter. Herpå sammenholdes disse for a kunne lave en prioritering af givne projekter. Der findes fem evalueringskriterier, som kan anvendes i cost-benefit analyser:

- Første års forrentning (FYRR).
- Nettonutidsværdi (NNV).
- Intern rente (IR).
- Benefit-Cost forholdet (B/C).
- Tilbagebetalingstiden.

Disse fem evalueringskriterier gennemgås enkeltvis i de følgende afsnit, da der er fordele og ulemper ved dem alle, men nogle vil være mere hensigtsmæssige at benytte i dette projekt end andre.

8.2.1. Første års forrentning (FYRR)

FYRR er givet som forholdet mellem de samlede benefits i åbningsåret (B_1) og de samlede omkostninger i hele levetiden (C) [Johannsen 2007]:

$$FYRR = \frac{B_1}{C} = \frac{\sum_{i=1}^{I} b_{1i}}{C}$$

FYRR opnås ved at diskontere alle omkostninger til åbningsåret og sætte summen af de enkelte benefits (b_{1i}) i åbningsåret i forhold til omkostningerne. FYRR er således et udtryk for, hvorledes projektet vil forrente sig i løbet af det første år. Hermed bør det projekt med den største forrentning vælges frem for alternativer. [Vejdirektoratet 1992]

Vejdirektoratet har tidligere benyttet FYRR som evalueringskriterium, men er gået væk fra dette, da der udelukkende fokuseres på benefits i åbningsåret. Dette kan være problematisk, eftersom flere effekter af projektet vil opstå igennem hele levetiden af projektet. [Munksgaard & Albrechtsen 2000]

8.2.2. Nettonutidsværdi (NNV)

NNV er givet ved den samlede værdi af fordele og ulemper i hele projektets levetid (T) tilbageskrevet med kalkulationsrenten (r) til et givent år (t), der eksempelvis kunne være åbningsåret, året for påbegyndelse af projektet eller året for en betaling af projektet [Trafikministeriet 2003]:

$$NNV = \sum_{t=0}^{T} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

NNV udregnes som summen af forskellen mellem benefits (B) og omkostninger (C) sat i forhold til kalkulationsrenten (r). NNV er hermed et udtryk for projektets samlede værdi tilbageskrevet til et givent år. En positiv NNV betyder, at fordelene er større end ulemperne ved projektet, således vælges det projekt med den største NNV.

Det problematiske ved at benytte NNV som evalueringskriterium er, at det ikke tager højde for investeringens størrelse, men udelukkende størrelsen af NNV. Dermed bør NNV kun fungere som evalueringskriterium ved projekter, hvor der er ubegrænsede økonomiske ressourcer til rådighed. [Trafikministeriet 2003]

8.2.3. Intern rente (IR)

IR angiver det årlige samfundsøkonomiske afkast af en investering i et projekt [Trafikministeriet 2003]:

$$0 = \sum_{t=0}^{T} \frac{B_t - C_t}{(1+IR)^t}$$

IR udregnes som den kalkulationsrente, der vil betyde, at NNV får værdien nul, jf. afsnit 8.2.2. Såfremt IR er større end den anvendte kalkulationsrente, vil projektet ofte være fordelagtigt.

Af problemer skal nævnes, at der kan opstå situationer, hvor der kan findes mere end én IR. Hvis den fremtidige samfundsøkonomiske værdi af projektet ikke udvikler sig stabilt og svinger op og ned mellem positive og negative værdier for benefits og omkostninger, vil der rent matematisk kunne findes flere nulpunkter og dermed flere IR. [Trafikministeriet 2003]

Et andet problem med at benytte IR som evalueringskriterium er, at der ikke tages højde for omkostningernes størrelse. Dette kan betyde en misvisning ved sammenligning af alternativer,

hvorfor det frarådes at benytte IR til samfundsøkonomiske vurderinger. [Finansministeriet 1999]

8.2.4. Tilbagebetalingstiden

Tilbagebetalingstiden angiver det antal år, der går, inden et projekt har tjent sig selv ind. Dermed den tid (T) der forløber, indtil summen af benefits er lig summen af omkostningerne ved et projekt og projektet begynder at give overskud [Finansministeriet 1999]:

$$\sum_{t=0}^{T} C_t = \sum_{t=0}^{T} B_t$$

Ulempen ved at benytte tilbagebetalingstiden som evalueringskriterium er, at der ikke tages hensyn til hele projektets levetid og dermed ikke hvad der sker efter projektet er tjent hjem. Hertil nævnes, at det ikke er muligt at sammenligne alternative projekter, da størrelsen af omkostninger og benefits ikke indgår i kriteriet. Hermed bør tilbagebetalingstiden ikke benyttes til samfundsøkonomiske vurderinger. [Finansministeriet 1999]

8.2.5. Benefit-cost forholdet (B/C)

B/C sætter NNV i forhold til nutidsværdien af de direkte nettoomkostninger for de offentlige kasser forbundet med projektet [Trafikministeriet 2003]:

$$B/C = \frac{NNV}{\sum_{t=0}^{T} \frac{C_{Off}}{(1+r)^t}}$$

B/C angiver et udtryk for den samfundsmæssige gevinst i forhold til den offentlige investering, hvorfor det projekt med det største B/C bør vælges. Eftersom der i B/C indgår både afkast og investering, vurderes det som værende det mest anvendelige evalueringskriterium. [Trafikministeriet 2003]

8.3. Overordnede beregningsparametre

I en cost-benefit analyse benyttes evalueringskriterier til at vurdere projekter samfundsøkonomisk, jf. afsnit 8.2. Som grundlag for disse evalueringskriterier er omkostninger og benefits, men hertil benyttes en række beregningsparametre og forudsætninger for de givne projekter [Trafikministeriet 2003]:

- Kalkulationsrente.
- Skatteforvridning.
- Nettoafgiftsfaktor.
- Kalkulationsperiode.
- Indsvingsperiode.

Ovenstående parametre er alle relevante for en samfundsøkonomisk vurdering og bliver i de følgende afsnit gennemgået.

8.3.1. Kalkulationsrente

Kalkulationsrenten er den rente, der benyttes ved frem- og tilbageskrivninger mellem de enkelte år for benefits og omkostninger, så det er muligt at sammenligne forskellige år. Den er et udtryk for den gennemsnitsrente, der kunne opnås ved investeringer i andre projekter. [Trafikministereriet 2003]

I udlandet kan kalkulationsrenten variere efter typen af projekter eller effekter. Dette betyder reelt, renter svingende mellem 3 og 8 procent i henholdsvis Tyskland og Frankrig. [Trafikministeriet 2003]

I Danmark er kalkulationsrenten på nuværende tidspunkt vurderet til 6 procent. [Transport- og Energiministeriet 2006]

8.3.2. Skatteforvridning

Skatteforvridningen, der også benævnes forvridningstabet, er den forvridning, som sker i økonomiens aktivitet, når der bliver lagt skatter og afgifter oven i udgifterne ved projekter. Dette ændrer folks adfærd, hvorfor der skal mere til, før folk er villige til at udføre eksempelvis et stykke arbejde, da folk ikke får udbetalt hele lønnen, fordi der skal betales skat. Med andre ord fordyres arbejdskraften for arbejdsgiveren, mens lønnen mindskes for arbejdstageren. [Trafikministeriet 2003]

I praksis betyder det, at omkostningerne ved et projekt skal tillægges skatteforvridningen, der i Danmark er sat til 20 procent, mens den i andre lande eksempelvis er 0 procent i Storbritannien eller 25 procent i USA. [Finansministeriet 1999]

8.3.3. Nettoafgiftsfaktor

Nettoafgiftsfaktoren er en faktor, der angiver forholdet mellem bruttonationalproduktet (BNP) og bruttofaktorindkomsten (BFI), således det beskriver afgiftstrykket fra indirekte skatter i samfundsøkonomien, da BFI er lig BNP fratrukket indirekte skatter og afgifter. Nettoafgiftsfaktoren kan dermed benyttes til at omregne mellem markedspriser og faktorpriser, så der undgås en værdimæssig forskelsbehandling mellem private og offentlige projekter. [Trafikministeriet 2003]

Førhen er faktorpriser blevet benyttet som enhedspriser i samfundsøkonomiske analyser, da det var ønsket at se på de realøkonomiske effekter. Dette er nu opgivet, da markedspriser er med til at beskrive forbrugernes adfærd og betalingsvillighed, som vurderes vigtige i samfundsøkonomiske vurderinger. [Munksgaard & Albrechtsen 2000]

8.3.4. Kalkulationsperiode

Kalkulationsperioden svarer til projektets levetid, men skal vælges til en relevant tidshorisont, da infrastrukturprojekter løbende vedligeholdes, så de kan vedblive funktionelle. Levetiden skal vurderes for det enkelte projekt, men det anbefales at benytte 50 år for større infrastrukturprojekter i Danmark. Hertil kommer, at projektet vil have en restværdi ved udløbet af kalkulationsperioden. Denne varierer efter det serviceniveau, som der opretholdes i perioden. [Trafikministeriet 2003]

8.3.5. Indsvingsperiode

Indsvingsperioden er den tid, som forløber fra åbningsåret af projektet, til de fulde effekter af projektet er slået igennem. Eksempelvis vil trafikvæksten skulle have en indsvingsperiode, men indsvingsperioden skal vurderes i forhold til det enkelte projekt. [Trafikministeriet 2003]

8.4. Risiko- og følsomhedsanalyse

Ved ethvert projekt vil der altid være en vis risiko forbundet. Risikoen vil være i forbindelse med, at der kan være flere forskellige udfald af projektet, hvormed resultatet ikke vil blive som forventet. Eksempelvis kan jordbundsforhold få større indvirkning på vejanlæggets pris end forventet, eller en eventuel tidsbesparelse ved anlæggelse af vejen kan blive mindre, da den afhænger af trafikudviklingen, der igen afhænger af den økonomiske udvikling i samfundet. [Finansministeriet 1999]

Da analysen er baseret på en række antagelser og forudsætninger, vil der være en række usikkerheder med hensyn til resultatet. Disse usikkerheder skyldes det faktum, at analysen forsøger at sige noget om fremtiden og de værdisætninger, der anvendes igennem analysen, kan være ret usikre. Det er dermed vigtigt at undersøge og analysere usikkerhedernes indvirkning på resultatet, for dermed at komme frem til den rigtige konklusion for hvorledes samfundets ressourcer bedst anvendes. Dette gøres gennem en følsomhedsanalyse. [Trafikministeriet 2003]

Det anbefales, at de overvejelser, der skal fortages for at vurdere analysens robusthed og dermed underbygge beslutningsgrundlaget, beskrives gennem følgende punkter: [Trafikministeriet 2003]

- En beskrivelse af de væsentligste usikkerhedsfaktorer i analysen.
- En beskrivelse af de væsentligste forudsætninger, der kan påvirke resultatet.
- En skematisk præsentation af relevante følsomhedsanalyser baseret på ovenstående to punkter.
- En samlet vurdering af konklusionens robusthed.

Som det fremgår, beror de to første punkter på en beskrivelse af usikkerhedsfaktorer og væsentlige forudsætninger, der vurderes at have stor betydning for det endelige resultat. Usikkerhedsfaktorerne omhandler de elementer, der efter projektets udførelse kan eftervises og kan indgå i en efterkalkulation, hvorimod forudsætningerne eksempelvis omhandler værdisætningen af tid, støj og miljø, der ikke umiddelbart kan evalueres efter projektets udførelse. [Trafikministeriet 2003]

Selve følsomhedsanalysen kan udføres ved forsøgsvis at ændre på de udvalgte parametre, der menes at have betydning for resultatet. Hver parameter tillægges en høj og lav værdi, for derefter at vurdere ændringerne af evalueringskriterierne, jf. afsnit 8.2. Ændres evalueringskriterierne betragteligt, således et andet alternativ vil være at foretrække, er der forbundet en stor risiko ved parametren. Ændres resultatet ikke, har parameteren ingen betydelig indvirkning. [Finansministeriet 1999]

En systematisk gennemgang af ovenstående vil derfor være med til fremhæve usikkerheder i analysen, hvilket der endeligt vil give mulighed for at vurdere, hvor reelt det endelige resultat er.

8.5. Sammenfatning

Samfundsøkonomiske analyser er et værktøj, der kan benyttes som hjælp til at træffe beslutninger mellem forskellige projekter i den politiske prioriteringsproces. En sådan analyse kan benyttes til at vælge det økonomisk mest fordelagtige projekt, men da der ofte er andre faktorer end økonomien, som har betydning ved prioritering mellem forskellige projekter, bør sådanne analyser ikke benyttes ukritisk.

Der er flere årsager til, at det er nødvendigt at være kritisk overfor en samfundsøkonomisk analyse. Flere af forudsætningerne som eksempelvis levetiden eller kalkulationsrenten bestemmes ofte med stor usikkerhed, da det ikke er muligt at kende fremtiden.

Yderligere kan der opstå problemer med værdisætningen af effekter, hvilket kan resultere i besværliggørelse ved valg mellem forskellige typer af projekter. Dette problem mindskes, hvis der kun analyseres på forskellige alternativer indenfor samme type af projekter.

Endeligt er der flere usikkerheder forbundet med nogle af evalueringskriterierne, hvorfor det eventuelt vil være tilrådeligt, at benytte flere evalueringskriterier sammen, da dette muliggør underbygning af valg af et projekt, hvis flere evalueringskriterier peger på det samme projekt.

Desuden bør enhver samfundsøkonomisk analyse indeholde en følsomhedsanalyse, da robustheden af resultatet dermed kan undersøges. Hvis analysen er meget robust, øger det analysens anvendelighed.

9. Samfundsøkonomisk analyse af beton, asfalt og Densiphalt

I Danmark er der ingen tradition for at lave samfundsøkonomiske analyser ved sammenligning mellem forskellige typer af vejbygningsmaterialer. I enkelte tilfælde er en samfundsøkonomisk analyse blevet benyttet ved valg mellem forskellige asfaltmaterialer, hvilket også er sammenhængende med, at der på nuværende tidspunkt næsten udelukkende benyttes asfalt som vejbygningsmateriale i Danmark.

Dette manglende samfundsmæssige syn ved vejbygning er problematisk, da det betyder, at der kun ses på de økonomiske omkostninger her og nu ved anlæggelse af en vej, hvor asfalt i øjeblikket er det billigste og derfor vælges.

Såfremt den samfundsmæssige helhed undersøges, er der mulighed for, at det kan være en fordel at vælge andre vejbygningsmaterialer, jf. kapitel 3, da de enkelte benefits kan være forskellige for de enkelte materialer. Her påtænkes benefits grundet materialernes forskellige egenskaber i forhold til trafiksikkerhed, komfort og holdbarhed. Da både materialernes udseende og struktur er forskellige, er der muligheden for, at nogle materialer samlet set er bedre end andre.

Resultatet af den samfundsøkonomiske analyse kan dermed være med til at underbygge projektets hovedformål, hvor det ønskes at undersøge, om der findes vejbelægningsalternativer til asfalt. Den tekniske analyse, jf. kapitel 7, har vist at Densiphalt og beton er i stand til at opfylde de danske krav til vejbelægninger, hvorfor udfaldet af den samfundsøkonomiske analyse er interessant, hvis denne også peger på en af de alternative belægninger.

Med udgangspunkt i kapitel 8 udføres her en samfundsøkonomisk analyse for at påvise forskellen mellem tre forskellige vejbygningsmaterialer:

- Asfalt.
- Beton.
- Densiphalt.

Her er asfalt og beton de to materialer, der traditionelt har været benyttet til vejbygning i Danmark og udlandet, mens Densiphalt er repræsentant for de semifleksible belægninger, der fungerer som en mellemting mellem asfalt og beton, jf. kapitel 5.

Kapitlet er opbygget, således de enkelte alternativer præsenteres som vejbygningsmaterialer og mulighederne for benyttelse af disse. Herpå fremgår forudsætninger i form af beregningsparametrene og evalueringskriterier. Yderligere gennemgås de enkelte omkostninger og benefits før den endelige sammenligning udføres.

9.1. Præsentation af scenarier

I sammenligningen mellem beton, asfalt og Densiphalt som vejbygningsmaterialer er det nødvendigt at opstille nogle muligheder for brug af de enkelte vejbygningsmaterialer i opbygningen af vejkassen.

Det danske vejnet består af mange forskellige typer af veje, hvor alle har forskellige funktioner og omgivelser. Generelt opdeles vejnettet i to vejklasser bestående af trafikveje og lokalveje, der har til funktion at sikre henholdsvis fremkommelighed og tilgængelighed. Derfor vil trafikveje ofte være større veje med et bredere tværprofil end lokalveje. [Vejdirektoratet 2006]

Her i projektet er det valgt kun at analysere på asfalt, beton og Densiphalt til trafikveje, da det af producenterne af alle tre materialer vurderes, at asfalt er det bedste til lokalveje og mindre veje med mange geometriske detaljer. Både beton og Densiphalt er materialer, hvis egenskaber bedst udnyttes ved brug til trafikveje, da denne vejtype er tungest belastet. [Aalborg Portland 1993]

Beton og Densiphalt har stor holdbarhed, jf. afsnit 7.6, hvilket gør dem særligt interessante til veje med store trafikmængder og meget tung trafik. Beton har en stor trykstyrke og Densiphalt er særligt udviklet med henblik på tungtbelastede arealer. [Colas 2008]

I trafikvejklassen er der stadig flere vejtyper, hvor alle tre vejbygningsmaterialer kan benyttes. Da det vil være for omfattende at analysere flere af disse vejtyper, afgrænses der til to muligheder. Disse vælges som strækninger, der er særligt trafikbelastede med både store trafikmængder og mange tunge køretøjer. Endvidere ønskes det, at de to strækninger er forskellige typer, der tjener forskellige formål og har forskellige omgivende faktorer.

De to muligheder for brug af de tre vejbygningsmaterialer er derfor valgt til følgende:

- En motorvej udenfor byen.
- En indfaldsvej i byen.

Der kunne vælges andre muligheder som eksempelvis en motortrafikvej, en hovedlandevej eller en fordelingsvej, men det vurderes, at der ikke vil være stor forskel på resultaterne, da flere af vejtyperne minder om hinanden.

De to muligheder er valgt for at undersøge, hvorvidt det gør en forskel for udfaldet af resultatet af sammenligningen, at vejopbygningen ændres og flere af de omgivende faktorer ændres. Muligheden for at undersøge resultatets påvirkning foretages også i en følsomhedsanalyse, men det vurderes at en følsomhedsanalyse ikke kan afklare alle problemstillinger, der opstår ved forskellen mellem de to muligheder. Derfor udføres en samfundsøkonomisk analyse for både motorvejsstrækningen og indfaldsvejen.

9.1.1. Motorvejsstrækning

Første og mest oplagt mulighed for sammenligning af alternative vejbygningsmaterialer er en motorvejsstrækning, der er valgt grundet den store trafikmængde og store andel af tung trafik på sådanne strækninger i Danmark. Endvidere er det på motorvejsstrækninger, at den største stigning i trafikmængderne har fundet sted, jf. kapitel 1.

Det vælges som eksempel til sammenligningen at benytte en fiktiv motorvejsstrækning udenfor byen med følgende trafikdata, der vurderes som værende præsentabel for flere strækninger af det danske motorvejsnet. [Vejdirektoratet 2007]:

- ÅDT: 40.000 køretøjer pr. døgn.
- Lastbilandel: 15 procent svarende til 6.000 lastbiler pr. døgn.
- Trafikvækst: 2,6 procent.
- Kørespor: Fire, to spor i hver retning.
- Strækningslængde: 10 km.
- Hastighedsbegrænsning: 130 km/t.

Det nævnes her, at ÅDT er årsdøgntrafikken svarende til den samlede trafik et gennemsnitligt døgn og en lastbil er et køretøj med en tilladt totalvægt over 3,5 ton. [Vejdirektoratet 2007a]

2,6 procent er valgt som trafikvækst, da dette er den gennemsnitlige vækst i trafikken på hele det danske vejnet siden 1985, jf. kapitel 1.

Motorvejsbyggeri er den type vejbygning, som typisk bliver dimensioneret for den største belastning grundet de store mængder af trafik og tunge køretøjer. Derfor skal vejopbygningen med de tre alternative materialer udføres med henblik på betjening af denne trafik, hvor særligt den tunge lastbilandel har betydning.

Det er valgt kun at sammenligne belægningerne for de tre alternativer, hvorfor underliggende lag som eksempelvis stabilt grus eller bundsikringssand ikke medtages. Yderligere vælges det kun at sammenligne alternativerne for en motorvejsstrækning hovedspor, hvorfor opbygningen af midterrabat og nødspor udelades, da disse typisk udføres med en mere simpel opbygning end hovedsporene. Herunder følger opbygningen af hovedsporene med henholdsvis asfalt, beton og Densiphalt.

Asfaltbelægning

Asfaltbelægningen er en typisk motorvejsopbygning, der er benyttet på et stykke af den fremtidige Holstebro-Vejle motorvej. Motorvejen har følgende opbygning [Lauridsen 2007]:

- 80 kg/m² svarende til cirka. 34 mm Skærvemastiks (SMA).
- 135 kg/m² svarende til cirka. 56 mm Asfaltbetonbindelag (ABB).
- 295 kg/m² svarende til cirka. 129 mm Grusasfaltbeton (GAB II).

Tallene ovenfor er oprindeligt opgjort i kg/m², hvilket forklarer de skæve lagtykkelser i mm. Årsagen er, at lagtykkelserne i udbudsmaterislet er opgivet i kg/m², hvorfor der ved omregning til mm ikke fås så "pæne" tal.

Slidlaget (SMA) er en belægning, som anvendes på steder, hvor der stilles ekstra store krav til belægningen, hvilket der stilles til en motorvejsstrækning i særlig grad. SMA er en meget tæt og holdbar slidlagsbelægning, der også har gode friktions- og stabilitetsegenskaber. Slidlagets opgave er at fremme trafiksikkerheden og beskytte de underliggende lag. [NCC 2001]

Andet lag (ABB) er bindelaget, der benyttes som et ekstra asfaltlag ved store trafikmængder og tunge trafikbelastninger, hvorfor det er medtaget i denne vejopbygning af en motorvej. Dette lag er med til at modvirke sporkøring. [NCC 2001]

Nederste asfaltlag (GAB II) er et bærelag, der er placeret ovenpå de ubundne bærelag og kan benyttes til alle vejtyper. GAB II har som bærelag til opgave, at fordele og optage kræfter stammende fra trafikken. [NCC 2001]

Betonbelægning

Da der ikke er de store erfaringer med betonbelægninger i Danmark og der derfor ikke er nogle anvendelige referencestrækninger, der er udlagt i nyere tid, vælges det at tage udgangspunkt i amerikanske erfaringer. Gruppen har derfor fået udarbejdet en dimensionering af en motorvej med de tidligere nævnte forudsætninger, hvormed motorvejen skal opbygges af [Neuhauser 2008]:

- 228 mm beton.

Betonbelægningen er uarmeret med dyvler i tværfugerne, hvilket også er projektgruppens forslag til en fremtidig betonvej i Danmark, jf. afsnit 4.4.

Tykkelsen af betonlaget vurderes at være rimelig, taget i betragtning, at der ifølge en amerikansk kilde kører 56.000 køretøjer pr. døgn på en 250 mm tyk betonvej, hvor der her skal køre 40.000 ved anlæggelse af motorvejen. [McCarthy 2005]

Densiphaltbelægning

Da Densiphalt er et nyt materiel i forhold til både asfalt og beton er det endnu ikke benyttet til almindelig vejbygning, jf. kapitel 5. Det har været benyttet til trafikerede arealer udenfor, hvor opbygning har bestået af et bærelag og et slidlag, hvor slidlaget har været 30 – 55 mm tykt. Slidlaget består en drænasfalt og Densiphaltmørtel. [NCC 2008]

En belægningsopbygning til en motorvej vurderes på baggrund af opbygningen til andre meget trafikerede arealer samt asfaltopbygningen, jf. afsnit 9.1.1, til følgende:

- 55 mm drænasfalt (cirka. 124 kg/m²) + Densiphaltmørtel.
- 295 kg/m² svarende til cirka. 129 mm Grusasfaltbeton (GAB II).

Drænasfalten er en asfalttype med ekstra hulrum, således der er plads til at Densiphaltmørtlen kan flyde ned i asfalten, jf. kapitel 5. De 55 mm er valgt, da en motorvejsstrækning vurderes til at være en meget trafikeret strækning, hvorfor den største slidlagstykkelse benyttes her.

Bærelaget (GAB II) har samme funktion som i en decideret asfaltopbygning, hvor dets opgave er at fordele og optage kræfter stammende fra trafikken. Derfor er det også valgt at benytte det samme bærelag som i asfaltopbygningen for motorvejen, jf. afsnit 9.1.1. [NCC 2001]

9.1.2. Indfaldsvej

Anden strækning, der vælges som sammenligningsmulighed, er en indfaldsvej. Denne er valgt, fordi sådanne vejstrækninger typisk er placeret ved en motorvej eller en motortrafikvej, således trafikken kan føres indtil byen ad denne. Dermed vil der også forekomme større trafikmængder og flere tunge køretøjer, hvorfor det vil være en realistisk mulighed for et alternativt vejbygningsmateriale.

Ligesom motorvejsstrækningen, jf. afsnit 9.1.1, er indfaldsvejen også en fiktiv strækning, men placeret i byen og derfor belyst. Den kan både repræsentere eksisterende strækninger og fremtidige veje. Trafikdata er som følger:

- ÅDT: 15.000 køretøjer pr. døgn.
- Lastbilandel: 10 procent svarende til 1.500 lastbiler pr. døgn.
- Trafikvækst: 2,6 procent.
- Kørespor: To, ét spor i hver retning.
- Strækningslængde: 5 km.
- Hastighedsbegrænsning: 60 km/t.

Her er 2,6 procent valgt som trafikvækst, da dette er den gennemsnitlige vækst i trafikken på hele det danske vejnet siden 1985, jf. kapitel 1.

Ligesom for motorvejsbyggeriet, jf. afsnit 9.1.1, er det udelukkende køresporsbelægningerne der er i fokus i sammenligningen, og det vælges også her at foretage sammenligningen mellem de tre mulige vejbygningsmaterialer, asfalt, beton og Densiphalt.

Asfaltbelægning

Asfaltbelægningen er en typisk indfaldsvejopbygning, der er benyttet på et stykke af ringvejen i Esbjerg. Indfaldsvejen har følgende opbygning [Jensen 2008]:

- 71 kg/m² svarende til cirka. 30 mm Skærvemastiks (SMA).
- 145 kg/m² svarende til cirka. 60 mm Asfaltbetonbindelag (ABB).
- 251 kg/m² svarende til cirka. 110 mm Grusasfaltbeton (GAB II).

Tallene ovenfor er oprindeligt opgjort i mm i udbudsmaterialet, hvilket forklarer de pænere lagtykkelser i mm i forhold til motorvejsopbygningen, jf. afsnit 9.1.1, der i udbudsmaterialet er opgjort i kg/m². Her i indfaldsvejopbygningen resulterer det i den modsatte situation, hvor opregningen fra mm til kg/m² giver knapt så "pæne" tal i kg/m².

Betonbelægning

Det vælges igen at få udarbejdet dimensioneringstykkelsen ud fra amerikanske erfaringer. En indfaldsvej med de tidligere nævnte forudsætning skal opbygges af [Neuhauser 2008]:

- 215 mm beton.

Betonbelægningen er uarmeret og med dyvler i tværfugerne.

Tykkelsen vurderes som værende fornuftig, grundet de tidligere udlagte betonvejsstrækninger i Danmark og udlandet, hvor tykkelsen af betonbelægningen har varieret omkring de 200 mm, jf. kapitel 4.

Densiphaltbelægning

En belægningsopbygning til indfaldsvejen svarende til trafikerede arealer er følgende på baggrund af de samme overvejelser som for motorvejsopbygningen, jf. afsnit 9.1.1:

- 45 mm drænasfalt (cirka. 101 kg/m²) + Densiphaltmørtel.
- 251 kg/m² svarende til cirka. 110 mm Grusasfaltbeton (GAB II).

Tykkelsen af bærelaget er det samme som for asfaltopbygningen af indfaldsvejen.

Udover selve opbygningen af de forskellige belægninger, er det nødvendigt at præcisere en række parametre, inden den samfundsøkonomiske analyse kan foretages, hvilket næste afsnit omhandler.

9.2. Forudsætninger

Forud for den egentlige sammenligning af asfalt, beton og Densiphalt foretages en række afgrænsninger, afvejninger og vurderinger. I dette afsnit redegøres der for disse valg samt hvilke forudsætninger, der er gjort i forbindelse med denne samfundsøkonomiske analyse.

9.2.1. Evalueringskriterium

Som evalueringskriterium vælges benefit-cost forholdet som det primære evalueringskriterium, men for at opnå større sikkerhed for sammenligningsgrundlaget vælges det tillige at benytte nettonutidsværdi, tilbagebetalingstid og intern rente. Disse tre kriterier er de nuværende kriterier til samfundsøkonomiske analyser på transportområdet og de kriterier, der giver det mest retvisende sammenligningsgrundlag, jf. afsnit 8.2. [Trafikministeriet 2003]

Såfremt flere af disse kriterier peger på det samme alternativ vil argumentet være stærkere for valg af dette alternativ til fremtidige belægninger, mens hvis de peger på forskellige alternativer, vil det skabe mere usikkerhed omkring belægningsvalget. I den givne situation at de tre evalueringskriterier ikke viser noget entydigt, vil benefit-cost forholdet blive foretrukket som evalueringskriterium.

9.2.2. Beregningsparametre

Beregningsparametrene er med til at kalkulere evalueringskriterierne og et præcist valg af disse parametre vil betyde et mere sandfærdigt evalueringskriterium. Som beregningsparametre benyttes de parametre, der er vedtaget som standardværdier i Danmark [Transportministeriet 2008]:

- Kalkulationsrente: 6 procent.
- Skatteforvridning: 20 procent.
- Nettoafgiftsfaktor: 1,17.
- Kalkulationsperiode: 50 år.
- Inflation: 2,2 procent.
- Indsvingsperiode: Ingen, da der arbejdes med fiktive scenarier, hvilket ikke gør det muligt at vurdere denne.

Værdierne ovenfor er vigtige forudsætninger for den samfundsøkonomiske analyse, da disse er med til at danne beregningsgrundlaget for analysen, jf. afsnit 8.3.

Kalkulationsrenten benyttes ved fremskrivning af effekter, grundet en effekt har større betydning ved anlæggelsen end i fremtiden. Inflationen benyttes ved fremskrivning af

omkostninger. Skatteforvridningen og nettoafgiftsfaktoren tilføjes omkostningerne ved vejprojekterne for at tage højde for skatte- og afgiftspåvirkningerne.

Af andre beregningsparametre nævnes indsvingsperioden, jf. afsnit 8.3.5, men da dette projekt ikke tager udgangspunkt i en konkret motorvejsstrækning eller indfaldsvej, vurderes det som acceptabelt at vurdere effekterne uden indsvingsperiode.

Ved generelle frem- og tilbageskrivninger af tidsværdier, enhedspriser og andre elementer i den samfundsøkonomiske analyse benyttes udviklingen i BNP ved frem- og tilbageskrivninger, mens udviklingen i nettoprisindekset (inflationen) benyttes ved andre frem- og tilbageskrivninger i forhold til basisåret. [Transportministeriet 2008]

Basisåret vælges til 2008 på baggrund af året for udarbejdelsen af dette projekt. Dette år vil også fungere som åbningsår for de fiktive strækninger i rapporten. Der kan foretages beregninger, der skal danne baggrund for valg af et optimalt åbningsår, men da dette projekt tjener til formål at vælge mellem forskellige belægningsmaterialer, vurderes det ikke for væsentligt i denne sammenhæng.

9.2.3. Basisalternativ

Normalt benyttes et basisalternativ ved økonomiske sammenligninger. Dette benævnes også nulalternativet. Dette fungerer som sammenligningsgrundlag, således den nuværende situation fremskrives over kalkulationsperioden uden at projekttiltagene foretages. Med et sådant kan de fremtidige konsekvenser anskueliggøres, såfremt der ikke gennemføres et givent projekt. [Trafikministeriet 2003]

I dette projekt benyttes asfaltbelægningen som basisalternativ, da det ønskes at sammenligne dette med beton og Densiphalt. Dette begrundes med at asfalt er den type belægning der normalt anvendes i Danmark og at det er hensigten at vurdere Densiphalt og Beton i forhold til denne.

9.3. Omkostninger og effekter

De enkelte omkostninger og effekter i en samfundsøkonomisk analyse udgør grundelementerne for den egentlige sammenligning mellem de forskellige belægninger, da det vil være her, der er en forskel at finde. Forudsætninger, jf. afsnit 9.2, er de samme for asfalt, beton og Densiphalt, hvilket enkelte af effekterne også vil være, men generelt er der forskel på disse. Omkostninger og effekterne er valgt til følgende, der vurderes som de mest umiddelbare til sammenligning:

- Anlægsomkostninger.
- Vedligeholdelsesomkostninger.
- Restværdi.
- Uheld.
- Brændstofforbrug.
- Tid.
- Kørselsomkostninger.
- Støj.
- Belysning.

- Produktions- transport- og udlægningseffekter.

Ovenstående omkostninger og effekter er valgt på baggrund af det mulige baggrundsmateriale for sammenligningen. Det vurderes også at være de væsentligste dele ved sammenligning af de tre materialer, da dette er de umiddelbare sammenligningselementer og dem, der generelt benyttes ved diskussion af materialevalg. Her følger en gennemgang af de enkelte omkostninger og elementer.

9.3.1. Anlægsomkostninger

Anlægsomkostninger er de udgifter, der er i forbindelse med anlæggelsen af vejprojektet. Disse omkostninger afspejler den reelle anlægspris i åbningsåret. I dette projekt fokuseres der udelukkende på belægningerne, hvorfor det kun er anlægsprisen for disse, der medtages i beregningerne.

I praksis bliver anlægsomkostninger fordelt ud fra en af Vejdirektoratet udarbejdet fordeling, jf. tabel 9.1, for at opdele betalingerne og diskonterer til det valgte basisår.

Tabel 9.1. Fordeling af anlægsomkostninger i forhold til år 2008 som åbningsår. [Vejdirektoratet 1992]

Anlægsomkostning	2004	2005	2006	2007	2008	I alt
< 55 mio. kr.		10 %	35 %	40 %	15 %	100 %
> 55 mio. kr.	15 %	20 %	25 %	30 %	10 %	100 %

De benyttede priser i dette projekt er allerede opgivet i 2008-priniveau, hvorfor den samlede pris ikke behøves fordelt som vist ovenfor, tabel 9.1. I praksis vil et projekt af en sådan størrelsen blive opgjort á conto pr. måned på baggrund af løbende opgørelser, hvorfor tabellen ikke fortæller noget om terminer. [Lauridsen 2007]

Asfaltanlægspris

Herunder følger de benyttede anlægsomkostninger ved benyttelse af asfalt som vejbelægning. Prisen inkluderer kun køresporsbelægninger.

- Motorvejsstrækningen [Lauridsen 2007]: 51,5 millioner kroner, når prisen fremskrives med inflationen på 2,2 procent ifølge nettoprisindekset til 2008 [Transportministeriet 2008].
- Indfaldsvejen [Jensen 2008]: 15,4 millioner kroner.

Pr. kvadratmeter er motorvejsprojektet billigere, da dette er et større vejprojekt end indfaldsvejen, hvorfor prisen naturligt bliver lavere for dette store projekt, da der skal bruges mere asfalt.

Betonanlægspris

I Danmark er erfaringsgrundlaget med betonveje beskedent. Derfor vurderes prisniveauet ved anlæggelse af nye betonveje i Danmark at være højt, såfremt det er danske firmaer, der skal prissætte en betonvejbelægning. Derfor benyttes prisniveauet fra to amerikanske projekter som udtryk for betonprisen. Herpå er betonprisen udregnet til at være gennemsnitlig 35 procent dyrere at udlægge end asfalt ved at midle mellem de to projekter. [McCarthy 2005] og [Neuhauser 2008]

I det ene amerikanske projekt er der udregnet en pris på både asfalt og beton for en indfaldsvej med en ÅDT på 56.000 køretøjer i døgnet, hvorfor det synes rimeligt at overføre dette til danske forhold. [McCarthy 2005]

Det andet projekt er en overslagsberegning på henholdsvis motorvejen og indfaldsvejen benyttet i dette projekt, men grundet denne lidt usikre overslagspris, er det valgt at tage gennemsnittet mellem de to kilder. [Neuhauser 2008]

Dette forhold vælges at benytte ved overgangen fra amerikanske til danske forhold, hvor asfaltprisen allerede er kendt. Dermed bliver priserne for betonbelægningerne følgende.

- Motorvejsstrækningen: 69,2 millioner kroner.
- Indfaldsvejen: 20,7 millioner kroner.

Priserne for de to scenarier angiver den samlede anlægspris i 2008-prisniveau.

Densiphaltanlægspris

Prissætningen af Densiphalt er vanskelig, da produktet stadig er under udvikling og endnu ikke benyttes som decideret vejbygningsmateriale, hvorfor det med udvikling af nye udlægningsmetoder vil kunne opnå et lavere prisniveau. I øjeblikket er Densiphaltmørtlen den dyreste del ved Densiphalt. Denne mørtel koster i omegnen af 1,5 gange asfaltens pris. Dette svarer til, at Densiphalt koster 2,5 gange så meget som asfalt [Amdi 2008].

Som udtryk for prisen på drænasfalt benyttes prisen for slidlaget i asfaltopbygningen omregnet til samme tykkelse tillagt 10 procent, da drænasfalt er omtrent 10 procent dyrere end normal asfalt [Vejdirektoratet 2004]. Desuden benyttes prisen for bærelaget i asfaltopbygningen, da denne er den samme. Dette vurderes acceptabelt, da asfaltmængderne til brug i scenarierne heri projektet er så store, at prisforskellene mellem de enkelte typer asfalt mindskes. Priserne bliver dermed følgende:

- Motorvejsstrækningen: 76,3 millioner kroner.
- Indfaldsvejen: 20,5 millioner kroner.

Priserne er i 2008-prisniveau.

9.3.2. Vedligeholdelsesudgifter

Da der er stor forskel på de enkelte veje i Danmark, er der også stor forskel på udgifterne til drift og vedligeholdelse. Hertil kommer, at der er forventninger om et forskelligt vedligeholdelsesniveau i forhold til vejtyperne. Eksempelvis forekommer det normalt med et højt vedligeholdelsesniveau på større veje i Danmark, mens det ikke er unormalt at finde nedslidte små byveje eller mindre landeveje. [Odense Kommune 2008]

Vejdirektoratet skal ifølge Finansloven 2007 bruge 139,6 millioner kroner (2007-prisniveau) i år 2008 på drift og vedligeholdelse af belægningerne samt afstribningerne på statsvejnettet. [Vejdirektoratet 2007]

Da statsvejnettet pr. 1. januar 2008 er 3.817 km langt, svarer det til, at der gennemsnitligt bruges 36.573 kr./km på drift og vedligeholdelse af statsvejnettets belægninger og

afstribninger. Heraf benyttes størstedelen på reparation og fornyelse af belægninger. [Vejdirektoratet 2008a]

Det er før forsøgt at undersøge, beskrive og opgøre vedligeholdelsesudgifterne, men da der er forskel på forudsætninger, materialer, ønsket vedligeholdelsesniveau, vælges det her at redegøre for nogle af mulighederne.

En kilde har prissat vedligeholdelsesarbejdet til henholdsvis 9 kr./år pr. m² for asfalt og 2 kr./år pr. m² for beton (1993-prisniveau) for en hovedlandevej med en ÅDT på 10.000 - 15.000 kjt./døgn. Heri indgår for asfaltbelægninger udgifter til slidlag efter behov, forstærkningslag efter behov, diverse småarbejder som forsegling af revner, udbedring af huller samt udfyldning af sporkøring, når sporene er mere end 10-15 mm dybe. For betonbelægninger indgår udgifter til genskabelse af friktionen. [Aalborg Portland 1993]

I kilden vurderes levetiderne for asfaltbelægninger og betonbelægninger at være henholdsvis 20 og 75 år, hvor det kun er friktionen, der genskabes undervejs og hvor begge veje vil være nedslidte. Dette svarer ikke til de gennemsnitslevetider, der tidligere er beskrevet, jf. afsnit 7.6. [Aalborg Portland 1993]

En anden kilde vurderer på motorvejsbelægninger, hvor trafikmængderne er 40.000 - 50.000 ktj./døgn i 2001 fremskrevet med trafiktællinger fra 1999 og en oplyst trafikvækst på 3,7 - 4,3 procent. Betonbelægningerne er kontinuert armerede, mens asfaltbelægninger er udlagt på et betonunderlag. [Debroux et al. 2006]

I kilden afgrænses der for asfaltbelægningerne til kun at undersøge vedligeholdelsesomkostningerne for behandling af samlinger, reparation af slaghuller, revner og krakeleringer, sporkøring og endeligt fornyelse af slidlaget. Samlet ender det op med vedligeholdelsesudgifter på cirka 1,1 millioner euro i 2001-priser (svarende til 8,3 millioner kroner ved kurs 750) for vedligeholdelse af en kilometer asfaltbelægning over en 50-årig periode. [Debroux et al. 2006]

Betonbelægningernes vedligeholdelsesudgifter afgrænses i kilden til behandling af revner, afskalninger, små lokale reparationer, samlinger og udskiftning af kanten mellem hovedspor og nødspor. Dette ender op med cirka 0,1 – 0,6 millioner euro i 2001-priser (svarende til 0,6 – 4,3 millioner kroner ved kurs 750) for vedligeholdelse af en kilometer betonbelægning over en 50-årig periode, alt efter valg af betonbelægning. [Debroux et al. 2006]

En tredje kilde deler vedligeholdelsestiltagene for asfaltbelægninger op i tre mulige: et nyt slidlag, et nyt slidlag og et op- eller afretningslag eller endeligt et nyt slidlag og et forstærkningslag. Priserne varierer meget, da de afhænger af den enkelte asfaltløsning og der lægges op til, at den enkelte vælger mellem de tre løsninger ved vedligeholdelse. [Hede 1996]

For betonbelægninger består valget mellem vedligeholdelsestiltagene: genskabelse af friktion, genskabelse af jævnhed, udskiftning af enkelte plader eller mindre områder og endeligt udskiftning af fugemateriale. [Hede 1996]

Det vurderes, at første kilde [Aalborg Portland 1993] er meget påvirket af forfatterens egne interesser, da kilden stammer fra en betonproducent. Derfor kan især tallene for

asfaltbelægninger her være tvivlsomme, da det må formodes, at forfatterens kendskab til betonpriser er mere underbygget.

Anden kilde [Debroux et al. 2006] er vanskelig at overføre til de to scenarier, der arbejdes med i dette projekt, da asfaltbelægninger i kilden udlægges ovenpå et lag beton. Sådan en komposit vejopbygning, arbejdes der ikke med i projektet, hvor der er en klar opdeling mellem asfalt, beton og Densiphalt. Hertil benytter kilden kontinuert armerede betonveje som reference, hvilket ikke er tilfældet med dette projekt, hvor der benyttes uarmerede betonveje.

I den tredje kilde [Hede 1996] indgår ingen gennemsnitlige udgifter til drift og vedligeholdelse, hvorfor det ikke er muligt direkte at overføre tiltagene og udgifterne til dette projekt.

I dette projekt antages det, at den eneste større vedligeholdelsesudgift ved asfaltbelægninger går til fornyelse af slidlaget. Denne fornyelse foretages hvert 12. år, jf. kapitel 1, da dette er den gennemsnitlige levetid for et slidlag i Danmark. Som priser benyttes de priser, der allerede er kendt fra anlægsprisen, jf. afsnit 9.3.1. [Vejdirektoratet 2007]

Endvidere tilgår der omkostninger til affræsning af det eksisterende slidlag, hvilket er i omegnen af 7 – 10 kroner pr. m² eksklusiv moms. Dette er en pris, der er inklusiv bortskaffelse af det gamle slidlag. I dette projekt bruges gennemsnitsprisen på 8,50 kroner pr. m². [Jensen 2008]

For Densiphalt er levetiden 20 år, hvorefter det er normalt at Densiphaltlaget bortfræses, jf. afsnit 7.6. Herefter udlægges et nyt lag Densiphalt, der også antages at have en levetid på 20 år. Dermed skal Densiphaltlaget udskiftes to gange i løbet af den 50-årige periode.

Beton har en forventet levetid på 30 år, før der skal foretages større reparationer, jf. afsnit 7.6 Efter de 30 år, vurderes det, at der bliver udlagt et asfaltslidlag ovenpå betonen. Alternativt findes der andre reparationsmetoder for at få vejens tilstand løftet til det niveau, den var på ved nyanlæggelsen, eksempelvis kunne betonbelægningningen udlægges på ny, men i dette projekt benyttes et asfaltslidlag som reparationsmetode. Herpå er reparationscyklussen den samme som for en vej med komplet asfaltopbygning, hvorfor der skal nyt slidlag på vejen hvert 12. år.

Det faktum at det vælges, at udlægge asfalt ovenpå beton, betyder at beton vil opføre sig som asfalt efter 30 år indenfor parametrene støj, belysning og brændstofforbrug.

En reparationscyklus på 12 år er en middelværdi, grundet Vejdirektoratet oplysninger, om at en vejs slidlag i gennemsnit holder disse 12 år, jf. kapitel 1. Der kan argumenteres for, at cyklussen bliver kortere med tiden, da trafikken stiger og dermed nedbrydes vejen hurtigere. Som modargument for dette vurderes det, at slidlaget kan udlægges med større og større tykkelse ved fornyelse dette. Hvorfor de 12 år fortsat forbliver acceptable. Et andet argument er, ved en trafikvækst bliver det på et tidspunkt nødvendigt at udvide vejen med et eller flere nye spor, når vejens kapacitet er opbrugt. Dermed vil trafikken blive fordelt ud på flere spor og hvert enkelt vil derfor nedbrydes langsommere.

Grundet disse modstridende argumenter samt usikkerheder om fremtidens udvikling, vurderes det som acceptabelt at benytte hvert 12. år som mål for fornyelse af slidlaget ved asfalt og beton.

I alt fås følgende vedligeholdelsesudgifter over hele kalkulationsperioden, jf. tabel 9.2.

Tabel 9.2. Vedligeholdelsesudgifter over hele kalkulationsperioden. Udgifterne er til fornyelse af slidlag igennem hele perioden.

	Asfalt	Beton	Densiphalt
Motorvejen	12,6 mio.	3,5 mio.	22,0 mio.
Indfaldsvejen	3,5 mio.	1,0 mio.	5,7 mio.

Tabel 9.2 viser, at det er dyrest at vedligeholde Densiphaltbelægningen. Dette hænger sammen med at ved Densiphalt genudlægges et Densiphaltlag, der er den dyreste belægning af de tre. Betonbelægningens lave vedligeholdelsesomkostninger hænger sammen at materialet holder længere, inden det bliver vedligeholdt med et nyt slidlag.

9.3.3. Restværdi

Restværdien (scrapværdien) udtrykker den værdi, som vejen repræsenterer ved kalkulationsperiodens ophør. Restværdien vil falde med tiden grundet forældelse og slidtage i forhold til det løbende vedligeholdelses- og reinvesteringsniveauet. [Trafikministeriet 2003]

Såfremt en vej ikke vedligeholdes, vil den stadig have en restværdi større end nul kroner ved enden af kalkulationsperioden, da den stadig vil kunne tjene til formål som bærelag for den nye belægning. [Aalborg Portland 1993]

I dette projekt regnes der med, at vejene bliver fuldt vedligeholdte og sætninger er sket. Derfor er restværdien lig anlægsomkostningerne, jf. afsnit 9.3.1, tilbagediskonteret til åbningsåret. Endvidere bliver restværdien ikke korrigeret for nettoafgiftsfaktoren, jf. afsnit 8.3.3, da denne allerede indgår i anlægsomkostningerne. Hertil har restværdien ingen indvirkning på skatteforvridningen, jf. afsnit 8.3.2, da den ingen indvirkning har på de offentlige kasser, fordi den består af fysisk kapital. [Trafikministeriet 2003]

Ved tilbagediskontering af anlægspriserne til åbningsåret 2008 fås følgende restværdier for motorvejen, jf. tabel 9.3.

Tabel 9.3. Restværdi af motorvejsbelægning efter kalkulationsperioden. Restværdien er den fulde anlægspris tilbagediskonteret til åbningsåret.

	Asfalt	Beton	Densiphalt
Motorvejen	2,8 mio.	3,8 mio.	4,1 mio.
Indfaldsvejen	0,8 mio.	1,1 mio.	1,1 mio.

Tabellen viser, at efter kalkulationsperioden på 50 år har vejene stadig en ikke ubetydelig økonomisk værdi, hvorfor det er nødvendigt at medtage disse i en samfundsøkonomisk analyse.

9.3.4. Uheld

Det er muligt at medtage uheld i en samfundsøkonomisk analyse. Transportministeriet har prissat uheldsomkostninger, såfremt det ønskes at lave en uheldssammenligning. Uheldsomkostninger er opgjort på baggrund af de direkte udgifter i forbindelse med uheld og velfærdsmæssige omkostninger. Omkostningerne er således sammensat af direkte udgifter til politi, redning, medicinsk behandling og materielskadeomkostninger. Hertil kommer velfærdsomkostningerne i form af produktionstab og velfærdstab. [Transportministeriet 2008]

Det har imidlertid endnu ikke været muligt at påvise, at der er en forbindelse mellem antallet af uheld og de enkelte vejbygningsmaterialer. Dette hænger sammen med, at det er vanskeligt at opstille de samme forudsætninger for eksempelvis asfalt, beton og Densiphalt til en undersøgelse af sammenhængen mellem trafikuheld og materialet. [NRMCA 2008]

I modsætning til flere tekniske parametre er det ikke muligt at lave en uheldsundersøgelse i et laboratorium, da det forudsætter kendskab til vejstrækninger og uheldsoplysninger for disse strækninger. Allerede dette betyder, at en sådan analyse bliver meget omfattende og dermed vanskeligere at udføre end et laboratorieforsøg.

Hertil er det nødvendigt at udskifte belægningerne på vejstrækningerne til et andet materiale, såfremt det ønskes undersøgt, hvorvidt et nyt materiale vil betyde en ændring i uheldsforekomsten, hvorefter uheldsoplysningerne igen skal indsamles. Dette medfører et omfattende indsamlingsarbejde og en økonomisk fordyrelse ved udskiftning af den eksisterende belægning. Dataindsamlingen skal foregå over en længere årrække for at tage højde for årlige variationer.

I Danmark benyttes normalt fem år som indsamlingsperiode, da andre omgivende faktorer vil have ændret sig ved en længere årrække. Problemet i tilfældet med uheld kontra vejbygningsmateriale er, at det er nødvendigt med fem år pr. materiale for at undgå statiske udsving, men dette betyder samtidigt, at den samlede årrække bliver minimum dobbelt så lang. Derfor vil trafikken og omgivelser have ændret sig og usikkerheden ved undersøgelsen vil stige, hvilket vil give anledning til antagelser om, at det kan være omgivende faktorer og ikke materialet, der er årsag til en eventuel sammenhæng. [Vejdirektoratet 2006]

Endeligt er det nødvendigt at udvælge en enkelt af materialernes funktionsegenskaber som sammenligningsparameter i forhold til antallet af uheld, da det ellers ikke er muligt at få kendskab til, hvilke årsager der kan være til en sammenhæng. Andre faktorer skal helst holdes konstante ved undersøgelsen, men dette vil igen ikke være muligt, da der ikke er tale om et laboratorieforsøg, hvorfor både trafikken, vejen og omgivelserne ændres hele tiden.

Det er kendt fra undersøgelser, at der er en sammenhæng mellem friktion og uheld, der viser en faldende uheldsfrekvens ved en stigende friktion. Derfor er det tidligere forsøgt at overføre dette til at sammenligne asfalt- og betonbelægninger. [Hede 1996]

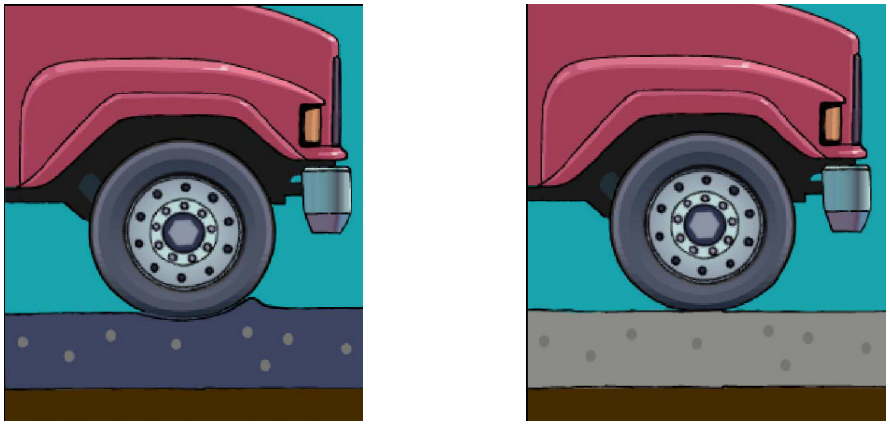
Der findes imidlertid også undersøgelser, der viser, at sammenhængen mellem friktion og uheldsfrekvensen ikke er signifikant, hvorfor sammenhængen udelukkende kan benyttes til at udpege steder, hvor uheldsfrekvensen er særligt høj og friktionen meget lav. [Seiler-Scherer 2004]

Af andre mulige sammenligninger nævnes forholdet mellem vejens lyshed og uheldsfrekvensen, da det er hypotesen, at en lys vej er mere synlig og reflekterende, hvorfor den dermed er mere trafiksikker. Det er meget svært at eftervise denne hypotese, hvorfor dette sammenligningsgrundlag heller ikke benyttes. [NRMCA 2008]

På baggrund af det mangelfulde og mindre underbyggede undersøgelsesmateriale indenfor forskelle i uheldsforekomsten ved benyttelse af forskellige vejbygningsmaterialer, vil der i dette projekt ikke blive sammenlignet mellem asfalt, beton og Densiphalt i forhold til uheld.

9.3.5. Brændstofforbrug

Undersøgelser viser, at der er forskel i køretøjers brændstofforbrug ved kørsel på forskellige typer af belægninger, der er henholdsvis stive eller fleksible. I Canada er en undersøgelse udført for strækninger med en asfalt-, beton- eller kompositbelægning. Kompositbelægningen består af beton med et slidlag af asfalt. Teorien bag undersøgelserne er, at der bruges mere energi og dermed mere brændstof ved kørsel på fleksible belægninger, jf. figur 9.1. [ACPA 2006]



Figur 9.1. Henholdsvis af asfalts og betons absorbering af energi. [ACPA 2006]

Asfalt er et fleksibelt vejbygningsmateriale, hvorfor det vil bevæge sig ved belastning og skabe en såkaldt rullemodstand, jf. figur 9.1. Hermed absorberer asfalten noget af den energi, der ellers benyttes til fremdrift. Dette er ikke tilfældet med beton, som er et stift materiale, der vedbliver samme konstante udformning til et brud sker. Derfor skal der benyttes mindre energi til at skabe den samme fremdrift på betonbelægninger som på asfaltbelægninger, hvilket betyder mindre brændstof. [ACPA 2006]

Undersøgelserne er foretaget med henholdsvis en lastbil og en personbil ved hastighederne 60 og 100 km/t for lastbilen og 100 km/t for personbilen. Endvidere blev undersøgelserne udført på forskellige årstider, for at inddrage vejrets betydning. Hertil er forsøgene udført på forskellige strækninger og med forskellig vægt af lastbilen. [Taylor & Patten 2006]

Særligt har undersøgelserne i Canada vist, ved kørsel med lastbiler er brændstofbesparelsen meget svingende, mens den ved personbilkørsel er mere konstant. Resultaterne er gengivet, jf. tabel 9.4, hvor det er valgt kun at gengive resultaterne ved kørsel på asfalt kontra beton. Kompositbelægningen udelades, da denne i undersøgelsen består af et lag asfalt ovenpå beton og derfor ikke er interessant i denne sammenhæng, hvor der arbejdes med en semifleksibel belægning repræsenteret ved Densiphalt, der udføres på anden vis, jf. kapitel 5.

Tabel 9.4. Forøgelse af brændstofforbrug ved kørsel på asfalt i forhold til beton. [Taylor & Patten 2006]

	Hastighed	Forøgelse af brændstofforbrug	Procentvis forøgelse
Lastbil	60 km/t	0,2 L/100 km	1,3 %
Lastbil	100 km/t	0,4 L/100 km	0,8 %
Personbil	100 km/t	0,3 L/100 km	2,9 %

I tabel 9.4 er kun gengivet resultater, der er statistisk signifikante, hvorfor de må vurderes som mere pålidelige. Endvidere er kun medtaget de mindste værdier for brændstofforøgelserne grundet andre usikkerheder omkring resultaterne, som hviler på forskellene mellem Canada og Danmark, årstidsvariationer, forskelle i resultaterne grundet fuld eller tom lastbil samt strækningsvariationer.

Vejbelægningerne, linieføringerne og længdeprofilerne varierer fra strækning til strækning og undersøgelserne er udført med køretøjer, der ikke umiddelbart benyttes på de danske veje. Eksempelvis er undersøgelserne udført med en lastbil, der fuldtlastet må veje optil 49,4 ton i Ontario/Quebec, Canada. [Taylor & Patten 2006]

Ved tilbageregning af værdierne i tabel 9.4 fås, at det samlede brændstofforbrug ved kørsel på beton har været:

- 15,4 l/100 km for lastbilen ved 60 km/t.
- 50,0 l/100 km for lastbilen ved 100 km/t.
- 10,3 l/100 km for personbilen ved 100 km/t.

Umiddelbart virker det underligt, at lastbilen skal bruge 50 l/100 km, men tallene er statistisk signifikante og i sammenlignings øjemed, vurderes det som acceptabelt.

I Danmark er den normalt tilladte totalvægt for lastbiler 32 ton, hvorfor forskellen i køretøjerne kan have påvirket resultatet [Wikipedia 2008]. Det vurderes på baggrund af, at større vægt kan skabe større bevægelser i den fleksible asfalt, men da resultaterne sammenlignes med kørsel på betonveje med den samme totalvægt, vurderes det som acceptabelt, da vægten af lastbiler også vil variere i virkeligheden. Desuden benyttes de mindste resultater fra undersøgelsen.

De store udsving i brændstofforbruget i undersøgelsen viser sig ved, at den procentvise forøgelse svinger i intervallet 0,8 - 6,9 procent for lastbilkørsel og statistisk signifikante værdier, men fælles for alle disse værdier er, at der benyttes mindre brændstof ved kørsel på betonveje frem for asfaltveje. [Taylor et al. 2002]

Yderligere er der lavet en svensk undersøgelse for kørsel med personbil på asfalt og beton. Denne viser, at brændstofforbruget er 1,5 – 2,0 procent højere for kørsel på asfalt frem for beton mod de 2,9 procent i den Canadiske undersøgelse, jf. tabel 9.4. De to undersøgelse underbygger hinandens argument om, at også for personbiler kan der spares brændstof ved at benytte betonbelægninger. [Granath 2008]

Der findes ingen undersøgelser angående brændstofforbruget på en semifleksibel belægning udført som den valgte i dette projekt, men som antagelse og benyttelse i projektet vælges det at anvende gennemsnittet af brændstofforbruget for henholdsvis beton og asfalt fra den canadiske undersøgelse, jf. tabel 9.5. Denne antagelse vurderes acceptabel, da materialet er en mellemting mellem beton og asfalt, hvorfor det ikke er så fleksibelt som asfalt, jf. afsnit 7.6, og der vil blive brugt mindre brændstof på Densiphalt frem for asfalt.

Tabel 9.5. Forøgelse af brændstofforbrug ved kørsel på Densiphalt i forhold til beton.

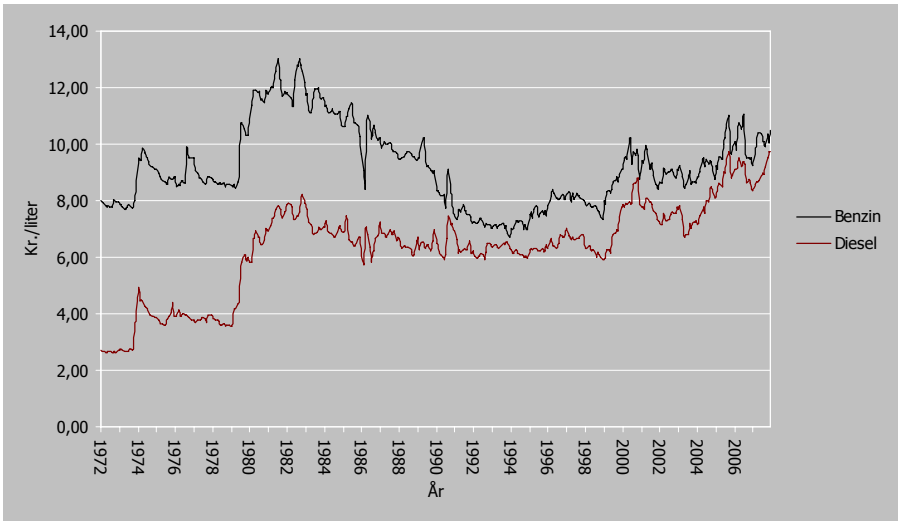
	Hastighed	Forøgelse af brændstofforbrug	Procentvis forøgelse
Lastbil	60 km/t	0,1 L/100 km	0,65 %
Lastbil	100 km/t	0,2 L/100 km	0,40 %
Personbil	100 km/t	0,15 L/100 km	1,45 %

Med værdierne for asfalt og antagelsen om værdierne for Densiphalt, jf. tabel 9.4 og jf. tabel 9.6, er det muligt at inddrage brændstofforbruget som en variabel i den samfundsøkonomiske analyse.

Inddragelsen foretages, således værdierne ved 60 km/t benyttes for indfaldsvejscenariet og værdierne ved 100 km/t benyttes for motorvejsscenariet. Da der kun er resultater at finde for personbilen ved 100 km/t, benyttes disse både for motorvejen og indfaldsvejen til personbilstrafik. Hastighederne 60 km/t og 100 km/t er ikke ensbetydende med de generelle danske hastighedsbegrænsninger på 50 km/t, 80 km/t og 130 km/t for personbilstrafikken eller 50 km/t, 70 km/t og 80 km/t for lastbiltrafikken henholdsvis i byen, udenfor byen og på motorveje. [Justitsministeriet 2007]

Det vurderes, at hastighedsfordelingen på det danske vejnet er stor, således værdierne fra den canadiske undersøgelse godt kan benyttes.

Ved inddragelse i den samfundsøkonomiske analyse skal brændstofforbruget værdisættes. Historisk set er det svært at forudsige prisudviklingen af brændstof, jf. figur 9.2, denne har stor variation, men der synes at være en stigende tendens siden starten af 1990'erne.

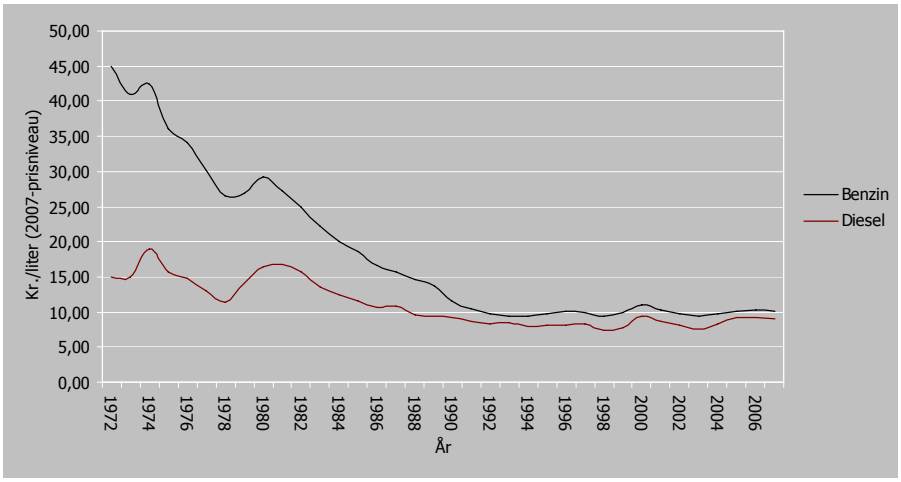


Figur 9.2. Prisudviklingen af benzin og diesel i Danmark (1972 - 2007). [Oliebranchen i Danmark 2008]

Figur 9.2 viser at priserne er steget de senere år, men tager ikke højde for inflationen. Derfor er det ikke muligt at få kendskab til folks købekraft og sammenligne prisniveauet de enkelte år imellem, da dette er en nødvendig oplysning at kende.

Figur 9.3 viser prisniveauet for benzin og diesel sat i forhold til 2007-priser ud fra forbrugerprisindekset, hvor de enkelte gennemsnitlige priser for hvert år er multipliceret med

forholdet mellem det nye og det gamle indekstal. Det fremgår, at forholdsmæssigt var brændstofpriserne op til fire gange så dyre i datidens penge, som de er i dag. [Danmarks Statistik 2008a]



Figur 9.3. Udviklingen i prisniveauet for benzin og diesel i Danmark (1972-2007).

Da prisudviklingen af brændstof er svært forudsigelig, jf. figur 9.2, vælges det af projektgruppen at benytte de af Transportministeriet fastsatte enhedspriser. For år 2008 er enhedspriserne for henholdsvis benzin og diesel fastsat til 10,20 kr./liter og 8,31 kr./liter. [Transportministeriet 2008]

I sammenligning benyttes diesel som brændstof for lastbilerne og benzin for personbiltrafikken. Denne antagelse vurderes acceptabel, da størstedelen af personbiltrafikken består af benzindrevne biler. I 2008 er der over fem gange så mange benzindrevne personbiler som dieseldrevne, hvilket svarer til 84 procent af den samlede personbiltrafik i Danmark. [Danmarks Statistik 2008]

Endeligt fås følgende udgifter forbundet med brændstofforbruget, jf. tabel 9.6.

Tabel 9.6. Brændstofudgifter for bilisterne over hele kalkulationsperioden.

	Asfalt	Beton	Densiphalt
Motorvejen	15,0 mio.	14,8 mio.	14,9 mio.
Indfaldsvejen	4,0 mio.	3,9 mio.	4,0 mio.

Tabel 9.6 viser, at udgifterne til brændstof er næsten den samme for de tre vejbygningsmaterialer.

9.3.6. Tidsomkostninger.

Tidsomkostningerne er de omkostninger, der er forbundet med den tid, det tager at benytte en given vejstrækning, der i dette projekt er en motorvej eller en indfaldsvej. I en samfundsøkonomisk analyse vil det være forskellen i rejsetid, der er væsentlig, da dette vil være sammenligningsgrundlaget.

I dette projekt sammenlignes der mellem tre forskellige belægningsmaterialer (asfalt, beton og Densiphalt), hvorfor linjeføringen vil være den samme for de tre materialer og under normale omstændigheder er rejsehastigheden og dermed rejsetiden den samme for de tre belægninger.

Der kan argumenteres for, at bilisterne vil nedsætte deres hastighed i takt med at vejens fysiske tilstand forværres. Det vurderes imidlertid, at de danske veje generelt er i så god en tilstand, at bilisterne ikke nedsætter hastigheden. [Hede 1996]

I projektet er valgt scenarierne en motorvej og en indfaldsvej, hvilket er veje, der i Danmark er større veje og tilhører det overordnede vejnet. I Danmark er der tradition for, at især disse veje har et højt vedligeholdelsesniveau. Hertil er det i projektet forudsat, at vejen er fuldt vedligeholdt, jf. afsnit 9.3.3, hvorfor bilisternes gennemsnitshastighed er den samme ved normale forhold. [Odense Kommune 2008]

Dette betyder, at ved skelnen mellem de tre belægningstyper og tidsomkostningerne ved kørsel derpå, er det kun nødvendigt at se på forskelle, der skyldes vedligeholdelse og dermed vejarbejde, som forårsager hastighedsnedsættelse, forsinkelse og eventuelt kø.

Det er før forsøgt at opstille modeller til udregning af tidstabet for brugerne af vejen ved vejarbejde. Principielt ønskes det med modellerne at finde forskellen i rejsetiden ved normal situation og ved vejarbejde. Dermed kendes forsinkelsestiden. Tiden kan udregnes, hvis rejsehastigheden og længden af zonen med vejarbejde kendes. [Hede 1996]

Da der kan forekomme store forskelle på de enkelte vejarbejder og påvirkningen henover døgnet i forhold til den trafikale belastning, vælges det i dette projekt at udregne tidstabet med en antagelse om vejarbejdet.

Det antages, at de to vejtyper i projektet er så vigtige transportkorridorer, at trafikken ikke kan omdirigeres til andre ruter. Dermed skal den samlede trafikmængde gennemkøre strækningen både ved vejarbejde og under normale omstændigheder.

Ved størstedelen af alt vejarbejde foretages der ved skiltning en hastighedsnedsættelse til 50 km/t, hvorfor dette også bliver rejsehastigheden i dette projekt ved vejarbejde. [Vejdirektoratet 2008d]

Dette betyder, at bilisternes rejsehastighed bliver henholdsvis 80 km/t og 10 km/t lavere for motorvejen og indfaldsvejen, jf. afsnit 9.1. Her er det ikke indregnet, at der vil være en zone før og efter selve vejarbejdet, hvor bilisterne henholdsvis sænker eller øger hastigheden. Dette vurderes acceptabelt, da hastighedsspredningen ved vejarbejde skønnes stor og disse zoner vil variere meget i længde.

Beregningerne tager dermed udgangspunkt i den skiltede hastighed. Havde der været tale om et konkret projekt, ville det være muligt at anvende faktiske målinger af hastighederne, og dermed anvende mere nøjagtige hastigheder.

Den gennemsnitlige pris for forsinkelsestid er for personbiler sat til 239 kroner pr. time, mens for lastbiler er 596 kroner pr. time. Denne store forskel skyldes, at lastbiltrafikken er erhvervstrafik, mens personbiltrafikken er blandet. Såfremt personbiltrafikken hovedsageligt var

erhvervstrafik, ville dennes værdi også være større, da erhvervstrafik vægtes højere end bolig-arbejdstrafik eller anden trafik. [Transportministeriet 2008]

Ved vejarbejde er der også risiko for kødannelse. Denne problematik er svær at medregne, da køer kan have andre årsager end vejarbejde. Dette er primært trafikulykker, sammenbrud, store trafikmængder, vejrets indflydelse og tilskuere. [Hede 1996]

Endvidere kører bilister generelt for hurtigt ved vejarbejde, hvorfor det groft antages, at den forsinkelse, der ikke medregnes ved kødannelse grundet vejarbejde, opvejes af bilisternes hurtige kørsel, når der ikke er kø. [Soos 2008]

Da det er valgt ikke at medregne anlægsomkostninger for nødspor, jf. 9.3.1, vil muligheden for inddragelse af nødsporet som kørespor ved vejarbejde heller ikke blive medtaget. I øvrigt er det heller ikke alle nødspor, der er dimensioneret til at klare trafikbelastningen ved vejarbejde.

Det er valgt kun at se på større vedligeholdelsesarbejder, jf. afsnit 9.3.2, hvorfor det er nødvendigt med kendskab til, hvor hurtigt et større vedligeholdelsesarbejde kan udføres. En gennemsnitlig betragtning lyder, at en asfaltudlægger kan udlægge én kilometer asfalt pr. dag pr. kørespor. [Pedersen 2006]

En anden kilde siger, at der kan udlægges cirka 2 km asfalt pr. dag pr. kørespor ved udlægning af slidlag. Mange elementer spiller ind i denne betragtning, men det afhænger især af vejens geometriske udformning, som kan besværliggøre udlægningen. Yderligere benyttes antagelsen kun ved fornyelse af slidlaget, der er det tyndeste af lagene og derfor det hurtigste at udlægge. [Jensen 2008]

I dette projekt er det to større veje, der arbejdes med (en indfaldsvej og en motorvej), hvorfor det antages, at antagelsen om 2 km asfalt pr. dag, vurderes som acceptabel for motorvejen, da der her ikke vil forekomme mange detaljer og sving.

I tilfældet med indfaldsvejen er der flere detaljer, grundet eksempelvis diverse dæksler og tilslutninger af andre veje. Men det er stadig en større vej uden mange detaljer, hvorfor udlægningshastigheden vælges til 1,5 km asfalt pr. dag pr. kørespor.

Med disse antagelser vil det for motorvejen tage 20 dage at udlægge et nyt slidlag og for indfaldsvejen vil det tage 13 dage.

Hertil skal der regnes nogle dage til affræsning af eksisterende slidlag og opstilling af materiel og afmærkning. En fræser kan affræse hvad der svarer til 5 km asfalt pr. dag pr. kørespor. Dette betyder henholdsvis 8 og 2 dage for motorvejen og indfaldsvejen. [Jensen 2008]

Dermed bliver det endelige antal dage med vejarbejde henholdsvis 28 og 15 dage for motorvejen og indfaldsvejen og udgifterne for bilisterne grundet forsinkelse ses herunder, jf. Tabel 9.7.

Tabel 9.7. Forsinkelsestidsudgifter for bilisterne over hele kalkulationsperioden.

	Asfalt	Beton	Densiphalt
Motorvejen	102,1 mio.	39,0 mio.	56,0 mio.
Indfaldsvejen	51,0 mio.	19,5 mio.	32,7 mio.

Tabel 9.7 viser, at generne for bilisterne og dermed samfundet er store ved forsinkelse. For asfaltvejen er den størst, fordi levetiden ikke er så stor som for de to andre materialer, inden der skal udlægges nyt slidlag. I tallene er tiden til opstilling af afspærringer og skiltning ikke medtaget.

9.3.7. Kørselsomkostninger

Kørselsomkostninger relaterer sig til de udgifter, som brugerne har ved kørsel på vejene. Kørselsomkostninger er udgifter til motorolie, dæk, reparation og vedligeholdelse, afgifter samt afskrivninger. [Transportministeriet 2008]

Kørselsomkostninger inkluderer også brændstofforbrug, jf. afsnit 9.3.5, men det er her i rapporten valgt at behandle brændstofforbruget særskilt, da dette adskiller sig fra de andre kørselsomkostninger, i måden det indgår i projektet.

En sammenligning af asfalts, betons og Densiphalts kørselsomkostninger foretages normalt i forhold til parametre som eksempelvis friktionen eller jævnheden. Dermed er det et udtryk for vejens funktionelle tilstand, der er med til at afgøre kørselsomkostninger. [Hede 1996], [Jegsen & Lorentzen 1991]

I dette projekt er friktionen og jævnheden særskilt beskrevet og sammenlignet for de tre materialer, jf. kapitel 7. Dette betyder, at der allerede foretages en teknisk sammenligning på de parametre i projektet. Desuden vil en medtagning i den samfundsøkonomiske analyse betyde, at det vil være de tekniske parametres indvirkning, der lægger til grund for sammenligningen.

Dermed vil det ikke være forskellen på materialerne, der skaber forskellige kørselsomkostninger, hvorfor sammenligningen ligeså vel kunne udtrykke forskellen på forskellige asfaltmaterialer eller forskellige funktionelle tilstande, hvilket ikke er hensigten med analysen.

Af kørselsomkostningerne er brændstofforbruget den primære omkostning, jf. tabel 9.8.

Tabel 9.8. Kørselsomkostninger for private personbiler. [Transportministeriet 2008]

	Gennemsnit ekskl. afgift kr./km	Gennemsnit inkl. afgift kr./km
Brændstof	0,328	0,862
Motorolie	0,021	0,027
Dæk	0,033	0,041
Reparation og vedligeholdelse	0,339	0,434
Afskrivninger	0,297	0,831
I alt	1,018	2,195

I ovenstående tabel 9.8 er benyttet kørselsomkostninger for private personbiler, men den giver et udmærket billede af de generelle sammenhænge, hvoraf størrelsesordnen af de enkelte kørselsomkostninger tydeliggøres. [Transportministeriet 2008]

I tabel 9.8 udgør brændstof 39 procent af de samlede kørselsomkostninger inklusiv afgifter, men det vurderes, at afskrivninger ikke bør tages med i en sammenligning mellem forskellige materialer, da de i stor grad afhænger af de andre kørselsomkostninger og biltypen, hvorfor brændstof kommer til at udgøre 63 procent af de samlede kørselsomkostninger, når afskrivninger ikke medregnes. [EuroCapital 2007]

Hertil er det gruppens opfattelse, at brændstof er den mest omtalte og debatteret af kørselsomkostningerne, da denne omkostning oftere er mere aktuel for bilejere end de resterende kørselsomkostninger. Brændstofforbruget er allerede beskrevet i rapporten, jf. afsnit 9.3.5, hvorfor det ikke yderligere nævnes her.

Endvidere er mange kørselsomkostninger svære at medtage i en samfundsøkonomisk analyse med materialevalg som denne, da alle disse kørselsomkostninger også afhænger meget at brugernes køremåder. [Miljøministeriet 2005]

Undersøgelsesmaterialet vurderes at være mangelfuldt og mindre underbygget. Hertil har brændstofforbruget en fremtrædende rolle. Derfor vil der i dette projekt ikke blive sammenlignet mellem asfalt, beton og Densiphalt i forhold til andre kørselsomkostninger end brændstofforbruget, jf. afsnit 9.3.5.

9.3.8. Støj

Støjgener er en gene, som mange mennesker, der opholder sig i nærheden af veje, ønsker mindsket. Derfor er det interessant i en samfundsøkonomisk analyse at undersøge forskellen i støjgener ved forskelligt belægningsvalg. [Clasen 2007]

I projektet er det allerede nævnt, jf. afsnit 7.5, hvorvidt der er forskel på de tre belægningsmaterialer (asfalt, beton og Densiphalt). Her blev det nævnt, at det er muligt at udvikle asfalt, beton og Densiphalt, der støjer henholdsvis 5, 3 og 3 dB lavere end almindelig asfalt.

I denne samfundsøkonomiske analyse tages der ikke højde for, at der skal gøres særlige tiltag for lavere støjniveau, hvorfor der ikke benyttes støjreducerende belægninger. Det antages imidlertid, at forholdet mellem støjreduceringerne kan benyttes i dette projekt som sammenligningsgrundlag.

Referenceværdien er 102 dB(A) ved en målehastighed på 80 km/t, jf. afsnit6.1.5. Dermed opnås støjniveauer på 97, 99 og 99 dB for henholdsvis asfalt, beton og Densiphalt ved 80 km/t, da det formodes, at dette har været målehastigheden til de fundne værdier i dette projekt, jf. afsnit 7.5.

Dette svarer til at både beton og Densiphalt støjer forholdsmæssigt cirka 2 procent mere end asfalt, hvilket benyttes i analysen.

Dette relative forhold er for værdier af de tre materialer, når materialerne er mest støjreducerende, men det vurderes at dette forhold kan overføres til de almindeligt brugte materialer, hvilket er tilfældet i dette projekt. Desuden må der forventes en merpris for belægningen, hvis den skal udføres som støjreducerende.

Ved prissætning og måling af støjgenerne tages der udgangspunkt i støjbelastede boliger. Da der er forskel på de enkelte boligers støjbelastning, vægtes disse forskelligt i forhold til støjintervaller og endeligt omregnes der til SBT-boliger med genefaktorer. SBT (StøjBelastningTallet) er dermed et vægtet antal støjbelastede boliger, hvor én støjbelastet bolig svarer til en støjbelastning på 75 dB(A). Endvidere indgår en bolig kun i SBT, hvis støjbelastningen er over 55 dB(A). [Trafikministeriet 2003]

Da de to scenarier i dette projekt er fiktive, er det ikke muligt at lave en undersøgelse af boliger i forbindelse med en linieføring af henholdsvis motorvejen eller indfaldsvejen. Det er muligt at fastlægge støjudbredelse ved hjælp af programmet Nord2000 Road. Programmet giver et udtryk for støjudbredelsen i forhold til en given afstand. For at udregne antallet af SBT-boliger er det nødvendigt med kendskab til topografien og ikke mindst boligernes placering. Da der ikke er nogen umiddelbar baggrund for disse antagelser, vælges det at tage udgangspunkt i SBT tal fra andre undersøgelser.

Vejdirektoratet har udarbejdet en VVM-undersøgelse for motorvejen ved Silkeborg og Riis-Vejle. Det vælges at benytte antallet af SBT-boliger fra disse projekter, da der her findes data for strækninger i det åbne land og i byen:

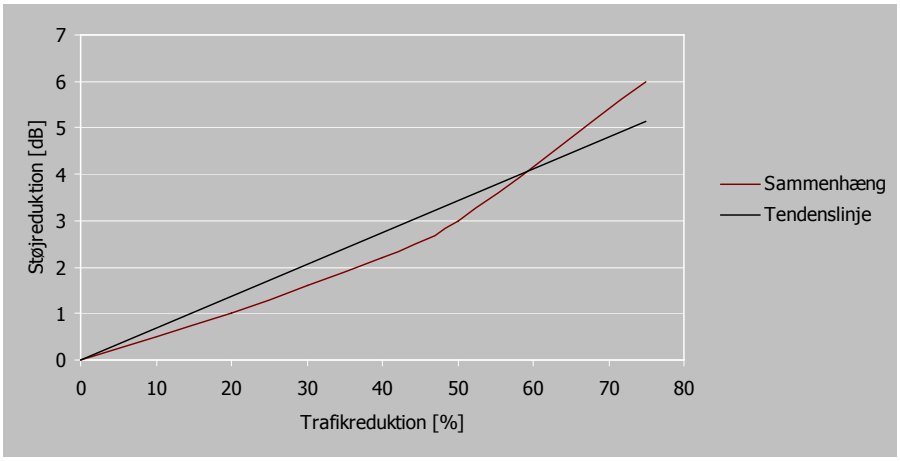
- I det åbne land: Cirka 8 SBT-boliger pr. km [Vejdirektoratet 2005].
- I byen: Cirka 16 SBT-boliger pr. km [Vejdirektoratet 2002a].

Til brug i dette projekt betyder det, at antagelsen på 16 SBT-boliger pr. km bruges for indfaldsvejen, mens 8 SBT-boliger pr. kilometer bruges for motorvejen. Dette vurderes at være acceptabelt, da hastigheden ved Riis-Vejle og motorvejen i dette projekt er lig hinanden. For indfaldsvejen i dette projekt betyder det, at støjniveauet reduceres med 7,5 dB, da hastighederne ikke er den samme som for motorvejen. [NOAH 2003]

I projektet får det ingen konsekvens, at det samlede støjniveau falder grundet lavere hastighed, da det vurderes, at den forholdsmæssige sammenhæng mellem støjniveauet for asfalt, beton og Densiphalt stadig er den samme.

Trafikmængderne ved Silkeborg er tæt på de vurderede ved indfaldsvejen, hvorfor antagelsen overføres direkte her. For motorvejsstrækningen er ÅDT omkring dobbelt så stor som ved Riis-Vejle, hvorfor antagelsen her skal tilpasses. [Vejdirektoratet 2002a]

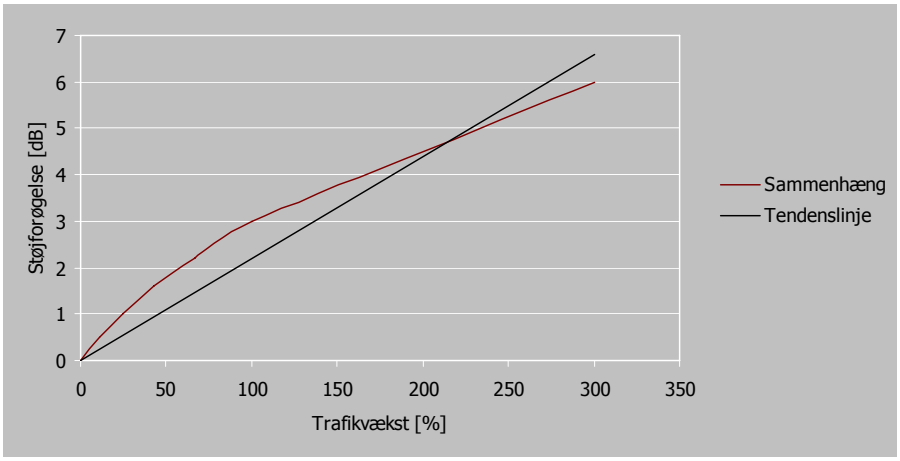
Det er nødvendigt at kende sammenhængen mellem en reduktion i trafikken og reduktionen i støjniveauet, for at kunne tilpasse værdierne i forhold til trafikken på motorvejen samt ved fremtidig trafikvækst, jf. figur 9.4.



Figur 9.4. Sammenhæng mellem trafikreduktion og støjreduktion. [Vejdirektoratet 1998]

Figur 9.4 viser at sammenhængen mellem en reduktion i trafikken og en reduktion i støjen ikke er entydig lineær, hvilket nemt ses ved sammenligning med den lineære tendenslinje.

Ved tilbageregning af værdierne i figur 9.4 fås en sammenhæng mellem trafikvækst og støjforøgelse, jf. figur 9.5.



Figur 9.5. Sammenhæng mellem trafikvækst og støjforøgelse.

I de to opstillede scenarier er trafikvæksten 2,6 procent pr. år, jf. afsnit 9.1, svarende til en støjforøgelse på cirka 0,1 dB. Denne støjforøgelse benyttes i analysen, da trafikvæksten sker løbende over hele kalkulationsperioden. Motorvejen har en ÅDT på 40.000 svarende til en stigning i støjen på 3 dB i forhold til motorvejen ved Vejle. Derfor benyttes et støjniveu 3 dB højere, hvorefter også denne stiger med 0,1 dB pr. år.

Det er nu muligt at udregne de samlede priser for SBT-boliger ved valg mellem de tre belægningstyper, jf. tabel 9.9, da enhedsprisen pr. SBT-bolig er 75.802 kroner. Denne pris er et udtryk for gene- og sundhedsomkostninger i forbindelse med støjbelastning af en bolig. [Transportministeriet 2008]

Tabel 9.9. Støjbelastningsudgifter ved de tre forskellige belægninger over hele kalkulationsperioden.

	Asfalt	Beton	Densiphalt
Motorvej	106,5 mio.	108,4 mio.	108,7 mio.
Indfaldsvej	103,5 mio.	105,4 mio.	105,6 mio.

Tabel 9.9 viser, at forskellen mellem de tre materialers priser for SBT-boliger ikke er så stor (kun de 2 procent), men tallene medtages alligevel i den samfundsøkonomiske analyse. Derudover udgør netop støjgenerne den største post i den samfundsøkonomiske analyse.

9.3.9. Belysning

Det er almindelig kendt, at lyse overflader reflekterer lys bedre end mørke overflader. Dette er også tilfældet med vejbelægninger. Grundet denne anderledes refleksion er det nemmere for bilister, at se om natten, jf. figur 9.6. [Smith 2006]

Figur 9.6. Highway Castello Branco ved São Paulo, Brasilien. [Smith 2006]

Af figur 9.6 ses, at de vejbaner, der er lavet af beton reflekterer lyset bedre end asfaltbanerne. Yderst er der fire betonbaner, mens der inderst er tre asfaltbaner. Dette er tilfældet i begge retninger. Den lyse betonbelægning fremstår tydeligere end den mørke asfaltbelægning. [Smith 2006]

Billedet fortæller ikke, hvorvidt gadebelysningen er den samme for de to belægningstyper, men det antages de at være, da der umiddelbart forekommer det samme antal lygtepæle på billedet og fordi det vil virke undrende med kraftigere belysning på betonbelægningen, da dette vil være i modstrid med teorien om bedre refleksion.

Det er af flere undersøgt, hvorvidt der benyttes mindre energi og vedligeholdelsesudgifter til belysning på betonbelægninger frem for asfaltbelægninger. Et resultat af en amerikansk undersøgelse viser, at lyset reflekteres mere diffust på beton end på asfalt, hvilket betyder, at der skal benyttes mere energi til belysning på asfalt, da diffus refleksion skaber bedre illumination, jf. afsnit 7.4. [Gajda & VanGeem 2001]

Da der er flere undersøgelser, er der også flere forskellige resultater. For en typisk amerikansk vej er der op til 31 procent at spare på anlægs-, vedligeholdelses og energiomkostninger til belysning på en betonbelægning frem for en asfaltbelægning. [Gajda & VanGeem 2001]

Andre undersøgelser viser, at der behøves 24 procent flere lygtepæle samt 24 procent mere til anlægs-, vedligeholdelses og energiomkostninger til belysning af en asfaltbelægning frem for en betonbelægning. [ACPA 2008a]

I en tredje undersøgelse, hvor vejklasserne er opdelt i hoved-, forbindelses- og lokalveje, svinger resultaterne mellem 0 – 60 procent afhængigt af typen af armatur og området, som vejen er placeret i. Generelt er forskellene mellem beton og asfalt refleksion større, desto kraftigere belysning, som skal benyttes. Eksempelvis skal der benyttes 400 W ved en asfalthovedvej, hvor der kan nøjes med 250 W ved beton. [City of Springfield 2006]

I dette projekt arbejdes der med to scenarier, en motorvej og en indfaldsvej. Det er kun indfaldsvejen, som er belyst, jf. afsnit 9.1.2. Ifølge en amerikansk kilde vælges denne til at tilhøre kategorien forbindelsesveje samt beliggenhed i et erhvervsområde, hvilket indsnævrer resultaterne til 17-24 procent bedre illuminans ved betonbelægninger i forhold til asfaltbelægninger. [City of Springfield 2006]

Det afgrænses i projektet til ikke at undersøge konsekvenserne ved at ændre på mængden af armatur. Dette begrundes med de store forskelle på typerne af armatur og muligheden for senere at kunne skifte belægning, såfremt det på et senere tidspunkt ønskes at skifte til en anden belægning. Hertil er det i dette projekt forskellen mellem belægningerne, der ønskes analyseret, hvorfor anlægs- og vedligeholdelsesudgifter til eksempelvis armatur vurderes til at falde udenfor dette projekt.

I den samfundsøkonomiske analyse benyttes gennemsnittet mellem 17 procent og 24 procent, hvilket er 21 procent, som sammenligningsgrundlag, således der benyttes 21 procent mere energi til belysning af asfaltbelægninger end der gør til betonbelægninger.

Det vurderes at beton og densiphalt ikke reflekterer lyset lige godt, da Densiphalt indeholder asfalt, hvorfor den mørke del vil blive synlig efter slidtage. Da hulrumsprocenten i Densiphalt gennemsnitligt er 26 procent, jf. kapitel 5, vurderes den sorte asfaltfarve at udgøre 74 procent af overfladearealet i Densiphalt. Derfor benyttes hulrumsprocenten som udtryk for den mængde bedre illuminans, der er ved Densiphalt frem for asfalt, hvilket er 15,5 procent, hvormed Densiphalt minder mere om asfalt end beton med hensyn til lyshed.

Dermed benyttes 21 procent ved sammenligning med beton og 15,5 procent ved sammenligning med Densiphalt.

Det vil være muligt at mindske forskellen ved eksempelvis at benytte lyst tilslag eller farveløs bitumen i asfaltbelægningen, men dette vil umiddelbart øge anlægsomkostningerne, hvorfor det ikke medtages i sammenligningen.

I den amerikanske kilde, hvoraf data stammer fra, benyttes gennemsnitligt 325 W pærer og lygtepælene placeres med en gennemsnitlig afstand af 53 m i den ene side af vejen. [City of Springfield 2006]

Alt efter valg af armatur og afstand mellem lygtepælene kan forskellen svinge, også ved overgangen fra de amerikanske tal til Danmark. Det vurderes ikke at have afgørende rolle i dette tilfælde, da det her er forskellen, ved brug af forskellige vejbelægninger, som er interessant.

I Danmark kan der forekomme lokale forskelle grundet forskelligt armatur og opstillingen af dette, men både i Danmark og USA vurderes det, at hensigten med belysningen er at skabe udsyn og tryghed for trafikanter, hvorfor tallene, der benyttes godt kan overføres til Danske tilstande.

I Danmark benyttes vejbelysning i døgnets mørke timer, hvilket i praksis svarer til, at gadebelysningen er tændt cirka 4.000 timer om året. [Stidsen 2007]

Såfremt de amerikanske tal benyttes vil en 325 Watt pære bruge 1.300 kWh/år. Med en energipris på 68,8 øre/kWh (2007-prisniveau), hvilket er elprisen for større virksomheder, fås en samlet energipris for én pære til 894,40 kr./år ved belysning på en betonbelægning. [Energitilsynet 2007]

Dette giver følgende udgifter for vejmyndigheden til belysning, jf. tabel 9.10.

Tabel 9.10. Udgifter til belysning over hele kalkulationsperioden.

	Asfalt	Beton	Densiphalt
Indfaldsvejen	2,4 mio.	2,0 mio.	2,3 mio.

Tabel 9.10 viser, at der skal benyttes lidt mere energi og dermed flere penge til belysning af den mørke asfaltbelægning på indfaldsvejen, da motorvejen er ubelyst.

9.3.10. Produktions-, transport- og udlægningseffekter

Ved produktion, transport og udlægning af beton, asfalt eller Densiphalt opstår der flere indirekte effekter, som der ikke umiddelbart bemærkes af brugerne af vejen. Dette er forurenings- og energieffekter stammende fra produktionen af materialet, forarbejdelsen af dette, transporten fra fabrikken til den givne vejstrækning og ved udlægningen. [Munck 2008]

I almindelighed er miljøet blevet et højtprioriteret emne. I vejbygning er de største miljømæssige udfordringer at finde før og efter selve udlægningen. Under produktionen af vejbygningsmaterialer sker en del udledninger af blandt andet CO_2 og NO_X fra fabrikkerne. Såfremt alternative vejbygningsmaterialer eller produktionsmetoder anvendes, kan der opnås store besparelser for miljøet. Dette kan eksempelvis ske ved genanvendelse vejbygningsmaterialer. [Munck 2008]

Det er før forsøgt at medtage energiforbruget ved produktion af asfalt og beton, hvor det er opgivet, at der benyttes 1.300 MJ/m³ til produktion, transport og udlægning af asfalt, mens der tilsvarende benyttes 1.750 MJ/m³ ved beton, hvilket svarer til at der benyttes 35 procent mere energi til beton end asfalt. Af disse værdier benyttes den største del af energiforbruget ved produktionen. [Hede 1996]

En anden undersøgelse er modstridende og viser, at der skal benyttes mest energi til produktion, transport og udlægning af asfalt frem for beton. Her benyttes der i gennemsnit en

mængde diesel svarende til 2,90 gl./ton for asfalt og 0,98 gl./yd.³ for beton, hvilket omregnet svarer til 25,80 l/m³ for asfalt og 4,85 l/m³ for beton ved at benytte en asfaltdensitet på 2.350 kg/m³ [Hede 1996]. Her benyttes der altså mere end fem gange så meget energi til asfalt end til beton. [FHWA 1980]

Årsagerne til forskellen i energiforbruget mellem de to undersøgelser skal findes i, at der i den sidste undersøgelse er forudsat, at asfaltbelægningen udlægges i tre lag, mens betonen udlægges i ét lag. Imidlertid er det muligt at udlægge asfalt på nogle strækninger i to lag, men beton i nogle tilfælde også udlægges i to omgange, jf. afsnit 4.1. [ACPA 2007]

Endvidere foregår transporten med asfalt 0-16 km, mens transporten af beton højst er 6,5 km, da der oftest benyttes et mobilt blandingsværk ved udlægning af beton. Det vurderes, at energien benyttet til transporten også har betydning for differensen mellem resultaterne, da distancen svinger for de to materialer, hvilket betyder ændringer i brændstofforbruget. [FHWA 1980]

Hertil er det udelukkende først fra blandingen af produkterne til henholdsvis asfalt eller beton, der er medtaget i den sidste undersøgelse, mens der i den første undersøgelse er medtaget produktion af råvarer, hvorfor dette bytter om på de to materialers energiforbrug. [ACPA 2007]

Ved anlæggelse af betonveje går størstedelen af energien til produktion af cement, der senere benyttes i betonblandingen. Dette har stor betydning for forskellene i tallene mellem de to undersøgelser, da asfalten skal varmes kraftigt op under blandingen, hvilket ikke er tilfældet med betonen. [Hede 1996]

I en sammenligning mellem de tre materialer skal benyttes tallene 1.300 MJ/m³ for asfalt og 1.750 MJ/m³ for beton. Det har desværre ikke været muligt, at få oplysninger om energiforbruget ved Densiphalt, men et forsigtig skøn går på, at energiforbruget er større end for de to andre materialer, fordi der er en meget omfattende udlægningsprocedure, jf. kapitel 5. Samtidig er Densiphalt et nyere materiale end de andre, hvorfor det må forventes, at produktionsmetoden af Densiphalt stadig er under udvikling. Selve materialet består af en asfaltdel og en mørteldel, hvorfor denne opdeling virker til, at muligheden for større energiforbrug fremhæves.

Yderligere er tallene for asfalt og beton mange år gamle, hvorfor der kan være sket ændringer i energiforbruget grundet muligheden for udviklingen af nye produktionsmetoder. Nogle af effekterne, der betyder et øget energiforbrug, vil betyde, at anlægsprisen, jf. 9.3.1, også forstørres. Denne sammenhæng mellem anlægsprisen og energiforbruget er svær at beskrive, men grundet denne sammenhæng, manglende oplysninger om Densiphalt samt forældede oplysninger om asfalt og beton, vil produktions- og transport- og udlægningseffekter ikke blive medtaget i sammenligningen. Dette skyldes at der er for store usikkerheder i tallene og undersøgelserne bag disse resultater.

9.4. Resultater af den samfundsøkonomiske analyse

I denne samfundsøkonomiske analyse er hensigten at sammenligne de tre vejbelægningsmaterialer asfalt, beton og Densiphalt, for at undersøge hvorvidt beton eller

Densiphalt kan være alternativer til asfalt. Det er således muligt at benytte analysens resultater i en fremtidig udvælgelsesproces, når der skal bygges nye veje.

Som udgangspunkt for sammenligningen valgtes to scenarier, jf. afsnit 9.1, en motorvej og en indfaldsvej. Da det har vist sig, at resultaterne for de to vejtyper har samme udfald med henblik på sammenligning mellem asfalt, beton og Densiphalt, vælges det at gennemgå resultaterne for de to vejtyper under ét.

I afsnit 9.2 og 9.3 er forudsætningerne og hver enkelt af de elementer, som benyttes til sammenligningen mellem asfalt, beton og Densiphalt, blevet præsenteret og beskrevet samt andre effekter, der ikke er medtaget i den endelige sammenligning.

Da projektet har vist, at der er forskel på benyttelse af de tre materialer ved vejbygning, er en sammenligning mulig. Herunder præsenteres resultaterne af den samfundsøkonomiske analyse, jf. tabel 9.11 og tabel 9.11.

I udregningerne af evalueringskriterierne indgår anlæggelse, vedligeholdelse, restværdi og belysning som omkostninger for vejmyndigheden, mens udgifter til brændstof, forsinkelsestid og støj indgår som effekter for brugerne.

Tabel 9.11. Resultater af den samfundsøkonomiske analyse for motorvejen (2008-prisniveau). Alle beløb i mio.kr.

MOTORVEJ	Beton	Densiphalt	Asfalt
Anlæggelse	69,2	76,3	51,5
Vedligeholdelse	3,5	22,0	12,6
Restværdi	3,8	4,1	2,8
Brændstof	14,8	14,9	15,0
Tid	39,0	56,0	102,1
Støj	108,4	108,7	106,5
Benefit-Cost	7,0	0,3	
NNV	53,7	11,2	
Intern Rente	16 %	8 %	
FYRR	- 0,9	- 0,2	
Tilbagebetalingstid	8 år	14 år	

Tabel 9.12. Resultater af den samfundsøkonomiske analyse for indfaldsvejen (2008-prisniveau). Alle beløb i mio. kr.

Indfaldsvej	Beton	Densiphalt	Asfalt
Anlæggelse	20,7	20,5	15,4
Vedligeholdelse	1,0	5,7	3,5
Restværdi	1,1	1,1	0,8
Brændstof	3,9	4,0	4,0
Tid	19,5	32,7	51,0
Støj	105,4	105,6	103,5
Belysning	2,0	2,3	2,4
Benefit-Cost	12,7	1,4	
NNV	27,6	9,5	
Intern Rente	20 %	15 %	
FYRR	- 2,9	- 0,9	
Tilbagebetalingstid	2 år	3 år	

Tabel 9.11 og tabel 9.12 viser en oversigt over de omkostninger og benefits, der er medtaget i den endelige sammenligning samt fem evalueringskriterier, nettonutidsværdien (NNV), benefit-cost forholdet (B/C), første års forrentningen (FYRR), tilbagebetalingstid og intern rente (IR).

Tabel 9.12 for indfaldsvejen indeholder en post mere i forhold til tabel 9.11 for motorvejen, da der her er medtaget udgifter til belysning, jf. afsnit 9.3.9.

I beregningen af evalueringskrterierne og dermed sammenligningen indgår benefits og costs som forskellen mellem beton/Densiphalt og asfalt, da asfalt indgår som basisalternativ. Yderligere indgår restværdien med modsat fortegn af de andre omkostninger.

Evalueringskriterierne for henholdsvis motorvejen og indfaldsvejen viser det samme, men med forskellig størrelse afhængig af vejtypen.

Benefit-cost forholdet, der er det primære evalueringskriterium, jf. afsnit 8.2.5 og 9.2.1, fortæller, at beton bør benyttes som vejbygningsmateriale til både indfaldsveje og motorvej, da dette er størst i forhold til investeringsforskellen med asfalt.

Nettonutidsværdien peger også på beton som det foretrukne vejbygningsmateriale til vejtyper som motorveje og indfaldsveje. Nettonutidsværdien udtrykker sammenhængen mellem fordele og ulemper. Da den er positiv er der flest fordele i denne sammenligning, og da beton har den største nettonutidsværdi, bør denne belægning foretrækkes i tilfældet med nettonutidsværdien som udvælgelseskriterium.

Intern rente som det tredje evalueringskriterium viser også, at beton er at foretrække. Da intern rente er over kalkulationsrenten på 6 procent skal det benyttes frem for asfalt, mens det, at den er større end den intern rente for Densiphalt betyder, at beton også skal benyttes frem for dette materiale til vejbygning.

Første års forrentningen benyttes normalt ikke længere til samfundsøkonomiske analyser, jf. afsnit 8.2.1, men her viser denne, at hverken beton eller Densiphalt bør benyttes som vejbelægning frem for asfalt. Dette er ikke overraskende, eftersom både betons og Densiphalts foretrukne salgsargument er større holdbarhed, hvorfor fordelene på kort sigt bør være til asfalts fordel. Dette er også årsagen til at første års forrentningen frarådes at benytte, da der kun ses på benefits ved det første år, jf. 8.2.1. Her er første års forrentningen udelukkende medtaget, for at underbygge dette argument mod at bruge første års forrentning som beslutningsgrundlag, da det fremgår, at de tre andre evalueringskriterier peger på beton, når hele kalkulationsperioden medtages, hvor der medtages effekter senere i perioden.

Tilbagebetalingstiden ved begge scenarier viser at beton er at foretrække, men også Densiphalt har en lav tilbagebetalingstid. Reelt set er det svært at vurdere noget ud fra tilbagebetalingstiden, da der i dette projekt kun indgår anlægsomkostningerne vedrørende selve vejbelægningen, mens alle benefits er medtaget gennem evalueringsperioden.

I dette projekt er det valgt, at benefit-cost forholdet er det primære evalueringskriterium. Dermed bør beton vælges som vejbelægning, men dette underbygges meget af, at nettonutidsværdien og intern rente også peger på beton.

Såfremt der benyttes andre vejtyper, forudsætninger eller elementer for sammenligning skal det undersøges, om resultatet bliver anderledes, hvorfor der skal udføres en følsomhedsanalyse, for at undersøge resultaternes påvirkning overfor ændringer.

10. Risiko- og følsomhedsanalyse

I og med at den samfundsøkonomiske analyse indeholder beregningsparametre, der er afhængige af fremtiden, hvormed der er knyttet en stor usikkerhed, er det nødvendigt at udføre en risiko- og følsomhedsanalyse, for at undersøge, hvad eventuelle ændringer i fremtiden vil få af betydning for resultatet, jf. afsnit 8.4. Formålet med afsnittet er dermed at undersøge, hvor robust det endelige resultat, jf. afsnit 9.4, er.

10.1. Parametre

Før risiko og følsomhedsanalysen kan gennemføres, er det nødvendigt at udvælge de parametre, der for det første menes at være forbundet med den største usikkerhed, og for det andet de parametre der vægter tungt i det endelige resultat, jf. 9.4.

Det anbefales, jf. afsnit 8.4, at opdele parametrene i to kategorier, henholdsvis usikkerhedsfaktorer og væsentlige forudsætninger, hvoraf usikkerhedsfaktorerne kan eftervises ved en efterkalkulation. I og med at det ikke er muligt at udføre en efterkalkulation, vælges det blot at beskrive parametrene løbende.

Det vil være for omfattende at justere på alle de parametre, der indgår i den samfundsøkonomiske analyse, da der vil være et utal af kombinationer. Der er derfor foretaget en udvælgelse af de nedenstående parametre, der er de parametre, der menes at have størst indflydelse på analysens resultat.

10.1.1. Anlægspris

Anlægsprisen vil være en parameter, der normalt vil indgå i en efterkalkulation, da eventuelle udsving i prisen, vil vise sig umiddelbart efter anlæggelsen. Det er dermed muligt at lave nye beregninger, hvor den reelle anlægspris indgår, og på den måde fastlægge den nøjagtige indvirkning på det endelige resultat. Det vil ikke være muligt i dette tilfælde, da der er tale om to fiktive strækninger, men gennem en følsomhedsanalyse vil det stadig være muligt at fastlægge anlægsprisens betydning for den samlede analyse.

For at undersøge hvilken betydning udsving i anlægsprisen af de tre forskellige belægninger, har med hensyn til analysens robusthed, vælges det at undersøge anlægsprisen, hvis denne øges eller mindskes med 30 procent.

Det vurderes, som værende tilstrækkeligt at undersøge for +/- 30 procent, da priserne for de tre belægninger reelt set tager udgangspunkt i de samme asfaltpriser, der er fundet ud fra allerede gennemførte projekter. Yderligere er det kun prisen for selve belægningerne, der indgår, hvorfor usikkerheden vedrørende en højere/lavere anlægspris mindskes, da der ikke er mange eksterne faktorer, der kan ændre anlægsprisen.

Der er især tilknyttet usikkerheder omkring prisen på beton, da denne er fundet på baggrund af amerikanske priser, hvor der kan være andre forhold, der gør sig gældende. Prisen på

Densiphalt er baseret ud fra et udsagn fra producenten, og dermed ikke en faktisk pris, hvorfor der også her må påregnes en vis usikkerhed.

10.1.2. Trafikvækst

Trafikvæksten vil også kunne indgå i en efterkalkulation, men her med noget længere tidshorisont end ved anlægsprisen. Trafikvæksten har oftest betydning for flere andre beregningsparametre og i dette projekt, er det følgende:

- Støj.
- Tid.
- Brændstof.

Bliver trafikvæksten ikke som forventet, vil det få betydning for alle de ovenstående parametre, hvorfor det er vigtigt at undersøge, hvorvidt en ændring i væksten også vil medføre en ændring af det resultat, som evalueringskriterierne peger på.

Den i projektet anvendte trafikvækst, er fundet på baggrund af en gennemsnitlig vækst af trafikken over en 23-årig periode, men derfor er det ingen garanti for at denne vil forsætte i fremtiden. Men tendenser fra udlandet, jf. kapitel 1, tyder på dette, hvilket også understøttes af infrastrukturkommissionens rapport fra 2007, der forventer en stigning af trafikken på 70 procent over de næste 22 år [Infrastrukturkommissionen 2008].

Fremtiden kan bringe mange ændringer i samfundet, der kan få betydning for trafikvæksten. Allerede i 2008 er der tale om at indføre lokale trængselsafgifter i København, der har til formål at mindske trafikken, så det er svært, at forudsige den gennemsnitlige vækst over en kommende 50-årig periode [Københavns Kommune 2008]. Det vælges derfor at undersøge hvorvidt trafikvæksten har en stor indflydelse på resultatet. Dette gøres ved at undersøge hvor stort et udslag der vil være i resultatet hvis der sker en ændring på +/- 2 procentpoint i trafikvæksten.

10.1.3. Brændstofpriser

Prisen på brændstof har tradition for at både stige og falde, jf. afsnit 9.3.5, hvorfor der også her vil være en risiko ved at bestemme den fremtidige udvikling af brændstofpriserne. De anvendte brændstofpriser i den samfundsøkonomiske analyse stammer fra nøgletalskataloget fra Transportministeriet.

Allerede på nuværende tidspunkt, maj 2008, er de anvendte priser i nøgletalskataloget overskredet. Siden nytår er dieselprisen i Danmark steget med 20 procent, hvilket har medført at prisen på diesel, er cirka 3 kroner dyrere end den pris, der er angivet i nøgletalskataloget [Halskov 2008]. Dette illustrerer den store usikkerhed, der ligger i de fremtidige brændstofpriser.

Da beregningsperioden er 50 år, er det umuligt at forudsige udviklingen helt nøjagtigt. Det vælges derfor at undersøge brændstofpriserne for en ændring på +/- 50 procent, og dermed undersøge om denne udvikling i brændstofprisen vil have stor indvirkning på analyseresultatet.

10.1.4. Tid

I den samfundsøkonomiske analyse er værdisætningen af tid udført på baggrund af Transportministeriets enhedspriser. Da der her er tale om en egentlig værdisætning, kan der være tvivl om denne værdi er rigtig.

Da tidsomkostningerne udgør en stor del af de samlede benefits, jf. afsnit 9.3.5, vil en ændring af værdien umiddelbart have stor betydning for det samlede resultatet af den samfundsøkonomiske analyse. For at undersøge hvor følsom analysen er over for en ændring af værdisætningen af tid, ønskes det at ændre værdisætningen med +/- 50 procent.

10.1.5. Støj

Støj er ligeledes som tid værdisat ud fra Transportministeriets enhedspriser, og også her kan der være tvivl om hvorvidt værdisætningen af støj er rigtig. Umiddelbart er det svært at opgøre støjomkostninger, da der ikke er tale om en egentlig omkostning, men nærmere en vurderet omkostning, der sætter en pris på, at støj skader omgivelserne.

Støjomkostningerne er den største benefit ved alle tre belægningstyper, jf. 9.4, hvorfor en ændring af værdien vil være interessant at undersøge. Det vælges at undersøge hvor følsom den samfundsøkonomiske analyse vil være over for en ændring af støjomkostningerne på +/- 50 procent.

10.1.6. Kalkulationsrenten

Kalkulationsrenten er som nævnt, jf. afsnit 9.2.2, den rente, der anvendes, når beløb skal frem- og tilbageskrives gennem den samfundsøkonomiske analyse. For tiden er denne fastsat til seks procent i Danmark, men samfundets konjekturer kan ændre sig over den næste 50-årige periode, hvorfor det ikke er sikkert, at kalkulationsrenten vil forblive på seks procent. Yderligere er renten blot fastsat ud fra en vurdering, hvorfor der også i andre lande anvendes andre kalkulationsrenter. Det er derfor interessant at undersøge, hvor følsom den samfundsøkonomiske analyse er over for en ændring af denne rente.

Det vælges, at undersøge om en ændring af kalkulationsrente på +/- 2 procentpoint vil have betydning for det endelige resultat.

10.1.7. Kalkulationsperiode

Den valgte kalkulationsperiode er 50 år, hvilket er normalt for et større anlægsprojekt, jf. afsnit 8.3.4. Det kan diskuteres om denne er rigtig valgt, da der i denne analyse er tale om en specifik udvælgelsesproces mellem tre belægningstyper, og ikke en større sammenligning mellem forskellige vejprojekter. I løbet af en 50-årig periode vil der ske mange ændringer med hensyn til belægningen og vejens brug.

Det vælges derfor at undersøge hvilken indflydelse en henholdsvis længere og kortere kalkulationsperiode vil have på resultatet. Til undersøgelse af dette, anvendes en ændring på -20 år. Det vælges kun at reducere kalkulationsperioden, da en kalkulationsperiode på mere end 50 år, betragtes som værende forbundet med endnu større usikkerheder. Jo længere kalkulationsperioden er, desto større bliver usikkerheden af resultatet.

10.2. Robusthedsvurdering

For at vurdere robustheden af resultatet i den samfundsøkonomiske analyse, gennemføres en følsomhedsanalyse ved at justere på de udvalgte parametre, jf. afsnit 10.1. Resultatet af følsomhedsanalysen for henholdsvis motorvej og indfaldsvej er nedenstående, jf. tabel 10.1 og tabel 10.2.

Tabel 10.1. Resultat af følsomhedsanalyse ved motorvej.

	Ændring [%]	Beton		Densiphalt	
		NNV	B/C	NNV	B/C
Central skøn		53,7	6,9	11,2	0,3
Anlægsomkostning	+/- 30	48,7 / 58,8	3,8 / 21,8	4,1 / 18,2	0,1 / 0,7
Trafikvækst	0,6 / 4,6	35,9 / 82,4	4,6 / 10,7	-3,5 / 38,1	-0,1 / 1,2
Brændstofpriser	+/- 50	54,0 / 53,7	7,0 / 6,9	11,3 / 11,1	0,3 / 0,3
Tid	+/- 50	85,3 / 22,2	11,0 / 2,9	34,3 / -11,9	1,0 / -0,4
Støj	+/- 50	52,8 / 54,9	6,8 / 7,1	10,1 / 12,3	0,3 / 0,4
Kalkulationsrente	4 / 8	86,3 / 34,1	29,7 / 3,2	31,8 / 0,8	0,8 / 0,0
Kalkulationsperiode	30 år	38,2	5,5	4,3	0,2

Tabel 10.2. Resultat af følsomhedsanalyse ved indfaldsvej.

	Ændring [%]	Beton		Densiphalt	
		NNV	B/C	NNV	B/C
Central skøn		27,6	12,7	9,5	1,4
Anlægsomkostning	+/- 30	26,1 / 29,1	7,1 / 43,9	8,0 / 10,9	1,0 /2,0
Trafikvækst	0,6 / 4,6	18,7 / 41,9	8,6 / 19,3	4,0 / 19,6	0,6 / 2,8
Brændstofpriser	+/- 50	27,7 / 27,6	12,8 / 12,7	9,5 / 9,4	1,4 / 1,4
Tid	+/- 50	43,4 / 11,8	20,0 / 5,5	18,7 / 0,3	2,7 / 0,0
Støj	+/- 50	26,7 / 28,6	13,3 / 13,1	8,4 / 10,5	1,2 / 1,5
Kalkulationsrente	4 / 8	42,7 / 18,5	59,4 / 6,1	17,4 / 5,5	2,1 / 0,9
Kalkulationsperiode	30 år	19,7	10,4	6,1	1,1

Helt overordnet viser resultatet af følsomhedsanalysen, at de to alternative belægninger ved begge scenarier, har en god rentabilitet i forhold til asfalt, på trods af justering af forudsætningerne. Endvidere viser følsomhedsanalysen at beton, uanset hvilken justering der foretages, er den mest rentable belægning.

En justering af anlægsomkostningerne viser at denne har stor betydning for, hvor fordelagtig den alternative belægning er. Forøges anlægsomkostningerne med 30 procent, går Densiphalt belægningen mod at blive urentabel, i og med NNV og B/C nærmer sig nul. Evalueringskriterierne for beton mindskes også men er stadig rentabel. Formindskes anlægsomkostningerne stiger rentabiliteten ved begge alternativer, hvilket også er forventet.

Trafikprognosen har også stor betydning for de to forskellige alternativer. Som det fremgår af følsomhedsanalysen, forøges rentabiliteten ved højere trafikvækst, hovedsagelig på grund af, at tidsparameteren får større indvirkning på asfalt. I tilfælde af en mindre trafikvækst går evalueringskriterierne i minus ved motorvejsscenariet for Densiphalt, hvormed Densiphalt er urentabel. Beton er påvirket afændringerne men forbliver rentabel.

Brændstofpriserne og støj har en begrænset indvirkning, da evalueringskriterierne ikke ændres væsentlig i forhold til det centrale skøn. Støj vægter tungest i kategorien benefits, men da der ikke er stor forskel på Densiphalt- og betonbelægningens støjniveau i forhold til asfalt, får dette en minimal indvirkning. Havde forskellen været større, vil støj sandsynligvis få stor betydning.

En ændring af værdisætningen af tid giver store udslag for alternativernes rentabilitet. Densiphaltbelægningen får negativ nettonutidsværdi og benefit-cost forhold ved motorvejs scenariet, når den fastsatte pris halveres. Betonbelægningen får ingen negative værdier, men nettonutidsværdien og benefit-cost forholdet bliver reduceret. Rentabilitet formindskes for begge belægninger ved indfaldsvejen, hvor Densiphaltbelægningen er meget tæt på en negativ værdi i benefit-cost forholdet.

En ændring af kalkulationsrente på to procentpoint viser, at denne har stor indflydelse på rentabiliteten. På trods af ændringen vil begge alternativer stadig være mere fordelagtige at udlægge, dog er Densiphalt meget tæt på et negativ benefit-cost forhold, set i forhold til asfaltbelægningen

Endeligt er der kalkulationsperioden. Denne viser, at Densiphalt- og betonbelægningens rentabilitet mindskes, når kalkulationsperioden nedsættes, hvilket også er forventet da, begge belægningers styrke ligger i længere levetid og dermed mindre vedligeholdelse. Begge alternativer vil stadig være rentable i forhold til asfalt.

Det der normalt betragtes som beton og Densiphalts styrke er den overlegne levetid i forhold til asfalt. Da denne ikke er reguleret i følsomhedsanalysen, vælges det slutteligt at udføre en regulering af levetiden, for at undersøge hvorvidt det vil påvirke resultatet af den samfundsøkonomiskeanalyse. Det vælges at reducere levetiden med fem år, så levetiden er 15 og 25 år for henholdsvis Densiphalt og Beton. Resultatet er nedenstående, jf. tabel 10.3.

Tabel 10.3. Resultat af justering af levetider.

	Ændring	Beton		Densiphalt	
MOTORVEJ		NNV	B/C	NNV	B/C
Central skøn		53,7	6,9	11,2	0,3
Levetid	- 5 år	32,5	3,3	-32,7	-0,7
INDFALDSVEJ					
Central skøn		27,6	12,7	9,5	1,4
Levetid	- 5 år	17,5	6,4	-11,7	-1,1

På trods af at betonbelægningens levetid reduceres med fem år, hvormed der skal udføres mere vedligeholdelse over den 50-årig periode, er beton stadig et rentabelt alternativ til asfalt. Densiphalt er derimod urentabel, hvilket også var forventet på grund af at belægningen i forvejen har svage evalueringsværdier i forhold til asfalt.

AFSLUTNING

Den afsluttende sektion indeholder en vurdering, konklusionen på projektforløbet og en perspektivering. Vurderingen indeholder vurderinger og anbefalinger i forhold til dette og fremtidige projekter. Igennem konklusionen fremhæves den viden, erfaringssektionen har bidraget med, men også resultaterne af de to analyser præsenteres. Sektionen indeholder endvidere en perspektivering, hvor gruppens holdninger til projektet tilkendegives. I denne fremgår det blandt andet, hvad gruppen foreslår med hensyn til vejbelægningsvalg i fremtiden, og hvad rapporten kan anvendes til.

11. Vurdering af resultater

Dette kapitel indeholder en vurdering af de resultater, der er blevet præsenteret igennem rapporten. Formålet med dette er, at præcisere hvorledes resultaterne skal betragtes, hvorvidt de er troværdige og kan anvendes i andre sammenhænge. Det gælder især for den samfundsøkonomiske analyse, da der i denne er en del antagelser, der ikke kan belyses igennem følsomhedsanalysen, hvorfor de vil blive beskrevet her. Kapitlet er opbygget, så der vurderes på erfaringsopsamlingen, den tekniske analyse og den samfundsøkonomiske analyse.

Erfaringsopsamlingen har påvist, at beton er et alternativ til asfalt. Dette er vurderet både ud fra danske og udenlandske erfaringer, der bygger på et bredt udsnit af forskellige kilder og lande med store geografiske forskel.

Det vurderes, at de tidligere problemer med betonveje er løst, fordi det brede udvalg af de forskellige lande og i Danmark er lykkedes at etablere holdbare betonveje, hvormed påstanden om, at beton er et alternativ, vurderes som reel.

Det andet alternativs (Densiphalt) begrænsede udbredelse har betydet, at dokumentationen og dermed erfaringsopsamlingen, der påviser, at Densiphalt kan anvendes som vejbelægning, har været begrænset. Erfaringerne har imidlertid vist, at belægningstypen er anvendelig på tungt trafikerede arealer. Producenten er endvidere ikke i tvivl om, at Densiphalt kan anvendes som et alternativ til asfalt. På trods af det mindre erfaringsgrundlag vurderer gruppen, at det er fornuftigt at vurdere belægningen som et alternativ.

Den tekniske analyse viser, at det især for asfalt og beton er dokumenteret, at belægningerne kan efterleve kravene fra de danske vejregler. Eftersom vejreglerne er det regelsæt, der definerer kravene til de danske veje, vurderes dette evalueringskriterium som tilstrækkeligt. Selve dokumentationen, for at belægningerne kan leve op til kravene, er fra allerede udlagte strækninger, hvorfor der er tale om faktiske værdier og ikke nogle estimeringer. I langt de fleste sammenligninger mellem asfalt, beton og Densiphalt er der anvendt det samme måleudstyr, hvilket styrker resultaterne.

Som værdier for Densiphaltbelægningen i den tekniske analyse har det været nødvendigt med en række antagelser om, hvorvidt belægningen kan efterleve kravene. Dette øger usikkerheden angående disse tekniske værdier for Densiphalt. Det vurderes imidlertid ikke som værende en stor usikkerhed, da belægningen minder meget om både beton og asfalt, hvorfor der er stor mulighed for at leve op til de danske krav.

Den samfundsøkonomiske analyse indeholder en række antagelser, før det er muligt at få det endelige resultat. Som ved enhver antagelse er der en usikkerhed tilknyttet, hvilket har betydning for det endelige resultat. Der er derfor udarbejdet en følsomhedsanalyse for at undersøge robustheden, hvilket sandsynliggør at resultatet er reelt.

Følsomhedsanalysen tager ikke højde for alt, hvorfor det vælges at vurdere usikkerheden omkring de to største poster i den samfundsøkonomiske analyse, som er tid- og støjeffekterne.

Da asfalt er den belægning, der gennemgår flest reparationer, har en ændring af tiden størst betydning for denne belægning. Mindre spildtid vil umiddelbart ikke ændre på det endelige resultat, hvorfor beton stadig er mest fordelagtig, da tiden af reparationer for betonbelægningen er den samme som ved asfalt, fordi der udlægges et asfaltlag ovenpå betonen som reparationsmetode. En eventuel ændring i tiden vil dermed påvirke både asfalt og beton og dermed ikke være til fordel for en af belægningerne. Det ville have haft stor betydning, hvis det var valgt at udlægge beton på ny efter endt levetid. Dette er ikke undersøgt i projektet og det vides derfor ikke, om det vil få stor betydning for resultatet.

I dette projekt er der endvidere taget udgangspunkt i nyanlæggelse af veje, hvorfor der må forventes flere gener, hvis det eksempelvis ønskes at ændre en nuværende asfaltvej til en betonvej, hvorfor det anbefales at lave en ny samfundsøkonomisk beregning ved en sådan problematik. Dette hænger sammen med, at det vil forlænge et vejarbejde betragteligt, fordi asfalten vil skulle fjernes og betonen udlægges. Selv med de mest moderne udlæggelsesteknikker vil betonen stadig skulle have tid til at hærde, hvorfor forudsætningerne vil ændre sig.

Den anden effekt, der vurderes, er støjeffekten. Datagrundlaget er tilstrækkeligt for asfalt med hensyn til støjreduktion, hvorimod det er mere tvivlsomt ved Densiphalt og beton, da der ikke foreligger dokumentation, for at disse også kan reducere støjen i forhold til en almindelig asfaltbelægning. I øvrigt vil det øge anlægsomkostningerne for asfalt, hvis der skal opnås en støjreduktion, da beregningseksemplet ikke er af en støjreducerende belægning. Densiphaltbelægningen og til dels betonbelægningerne vil kunne anlægges som støjreducerende uden ekstra omkostninger, hvorfor der er en mulighed for at det opvejer sig selv.

Det skal nævnes, at den samfundsøkonomiske analyse i dette projekt, kun kan benyttes ved sammenligning mellem de tre materialer til benyttelse for de to scenarier. Evalueringskriterierne fortæller kun noget om, hvordan beton og Densiphalt er i forhold til asfalt. Dermed kan eksempelvis den interne rente ikke tydes som et udtryk for den generelle forrentning af hele projektet, da omkostningerne kun inkluderer køresporsbelægningerne og dermed ikke hele projektets omkostninger, hvor også jordarbejde, afvanding og andre poster indgår. Dette har imidlertid ingen indflydelse her, da tallene kun benyttes til sammenligning materialerne imellem.

Materialerne indeholder også egenskaber, der ikke har været analyseret i rapporten. Det altid diskuterede emne i Danmark er tværfugerne, hvorfor de danske bilister afskyr de gamle tyske betonveje. Dette modbevises dog med IRI-målinger foretaget på nyere betonveje, hvor dette problem ikke opstår, eksempelvis kan nævnes forbindelsesvejen ved Hjørring, hvor fugerne ikke bemærkes.

At betonbelægningerne udlægges i andre lande er ikke argumentation for, at beton også vil blive en succes i Danmark. Der kan være andre forhold, der er gældende i de andre lande, heriblandt en tradition for at lave betonveje eller et mindre vedligeholdt vejnet, der begge vil gøre, at betonvejenes tværrevner ikke virker så generende. Før der anlægges betonveje, skal denne problematik klarlægges.

I disse tider er miljøspørgsmålet et meget debatteret emne, hvorfor emnet også så småt er behandlet i rapporten. Som det fremgår i rapporten, har undersøgelser påvist, at der anvendes

mindre brændstof ved at køre på en betonvej end en asfaltvej. Reduceringerne er ikke andet end et par procent, men i og med at der bliver anvendt mindre brændstof, vil udledningen af CO_2 og NO_x blive mindsket. Var samtlige af de cirka 4.000 km statslige veje, der står for 45 procent af alt transport i Danmark, belagt med beton, vil selv en lille reducering pr. køretøj få stor betydning i sidste ende.

Yderligere er det påvist, at der skal anvendes mindre energi grundet mindre belysning på belægninger, der er lysere end asfalt, heriblandt Densiphalt og beton. I rapporten er der fundet beviser for en reduktion på cirka 20 procent, hvormed der for hver belyst asfaltvej, der erstattes med beton, vil være en besparelse af energi og dermed mindre forurening fra elkraftværkerne.

Det anbefales ved andre analyser også at inddrage miljøaspekter som luftforurening, der også kan stamme fra produktion og udlægning i forbindelse med vejbygning. Endvidere kan der inddrages andre kørselsomkostninger end brændstofforbruget, såfremt dette findes betydningsfuldt i det givne projekt. Hertil skal det ved hvert enkelt projekt vurderes, hvilke materialer, der med fordel kan inddrages i analysen. Dette vil typisk afhænge af vejklassen og trafikmængderne, samt hvorvidt vejen placeres i byen eller i det åbne land. Det vil imidlertid stadig være nødvendigt at belyse, hvorvidt produktionen af beton eller Densiphalt er en større eller mindre forureningskilde i forhold til produktion af asfalt. Dette er forsøgt belyst i rapporten, men med modstridende resultater. Det anbefales derfor at udføre en livscyklus analyse. Viser resultatet af denne, at beton og Densiphalt er mere miljørigtigt, vil det blot understøtte de to andre ovenstående miljøfaktorer. Hvis produktionen af de alternative belægninger forurener mere end asfaltproduktionen, kan det eventuelt opvejes af de føromtalte reduceringer af brændstof og energi. Det ligger imidlertid udenfor dette projekt at undersøge denne problematik.

12. Konklusion

Dette kapitel er en afrunding på rapporten, som derfor indeholder en konklusion på rapportens analyserede problemstillinger i erfaringsopsamlingen, den tekniske analyse og den samfundsøkonomiske analyse. Dermed er hensigten også at skabe en forståelig sammenhæng til problemformuleringen, jf. kapitel 3 og resultaterne af projektet. Kapitlet er opbygget, således der indledningsvist præsenteres et kort referat af de tre sektioner og før der konkluderes på projektet.

Projektets hovedformål har været at undersøge, hvorvidt der findes alternative belægninger til asfalt ud fra en teknisk og en økonomisk indgangsvinkel. Desuden er det undersøgt, hvordan disse andre belægninger kan udføres. Igennem rapporten er det valgt at arbejde med de to alternative belægninger, Densiphalt og beton.

Beton har før været benyttet til vejbygning i Danmark. De første betonveje blev anlagt få årtier efter de første asfaltveje i starten af det forrige århundrede. Det er fra denne periode, at de mest positive danske erfaringer om betonveje stammer fra, hvilket må formodes at skyldes det lave vand/cementforhold, tilslaget samt den komprimering, som stampemaskinerne dengang tilførte belægningen.

Sidenhen har der været udlagt en række betonveje i Danmark med varierende resultater, hvoraf flere har været udlagt som forsøgsstrækninger. Senest i midten af 1990'erne er der udlagt to forsøgsstrækninger ved henholdsvis Holsted og Hjørring. De varierende resultater, der samlet set ikke har været tilfredsstillende, kan henføres til for hurtig og for dårlig udlægning, hvormed strækningerne ikke er udført grundigt nok og med for lidt erfaring. Hertil har vand/cementforholdet været for højt, tilslaget har været skyld i alkalikiselreaktioner og underlaget har ikke været stabilt nok. Det bør dog nævnes, at der har været enkelte tilfredsstillende anlæggelser af betonveje i Danmark.

I udlandet er kendskabet større og ligeledes er erfaringerne med betonbelægninger. Her benyttes i øjeblikket både asfalt- og betonbelægninger til vejbygning. Betonbelægningerne er enten uarmerede eller kontinuert armerede betonbelægninger afhængigt af trafikbelastningen. Hertil benyttes der moderne udlægningsteknikker, således der sikres optimale muligheder for at få en veludført betonbelægning. Dette er både gældende for selve udlægningsmateriellet, men også hvordan vejoverfladen sikres de tekniske egenskaber.

Densiphalt er ikke udbredt som vejbelægningsmateriale, hverken i Danmark eller i udlandet. Men det er alligevel medtaget i dette projekt, eftersom det vurderes at have forudsætninger til på sigt at kunne benyttes som vejbelægningsmateriale. Dette hænger sammen med, at det er et materiale, som forsøger at kombinere asfalt og beton og udbytte begge disses gode egenskaber. Hidtil har Densiphalt kun været benyttet på særligt udsatte arealer, men det vurderes, at årsagen til dette er den langsommelige udlægning og den forholdsvis dyre Densiphaltmørtel.

Den tekniske analyse undersøgte de tre belægningsmaterialer på parametre, som havde indflydelse på trafiksikkerheden, komforten og holdbarheden. De tekniske parametre, der endte op i sammenligningen, er friktion, jævnhed, profil, lyshed, støj og bæreevnen.

I udvælgelsen af vejbelægninger i Danmark benyttes på nuværende tidspunkt ikke samfundsøkonomiske vurderinger, mens de i udlandet benyttes som værktøj i udvælgelsesprocessen. Derfor var målet med den samfundsøkonomiske analyse i dette projekt, at undersøge om sådanne analyser bør benyttes og om de kan underbygge påstanden om hvorvidt der bør anlægges andre typer belægninger i fremtiden.

I dette projekt kan der konkluderes flere ting i forhold til problemstillingerne og med udgangspunkt i resultaterne fra analyserne.

"Benyt beton på stærkt trafikerede strækninger!"

Hele projektet konkluderer, at beton bør vælges som vejbelægning til motorveje og indfaldsveje med de forudsætninger som opstillet i denne rapport. Selv med de forskellige forudsætninger til de to scenarier i projektet, ændres resultaterne ikke. Årsagerne til at det alligevel ikke benyttes i Danmark har flere årsager. Den umiddelbare grund er, at det er mere bekosteligt at anlægge end asfalt, hvorfor den fravælges, når der udelukkende ses på anlægsprisen ved et projekt. Dette projekt har vist, at begrundelserne for ikke at vælge beton er blevet svagere, da der bør indgå andet end anlægsprisen i overvejelserne.

Det konkluderes ud fra den samfundsøkonomiske analyse, at ved motorvejs- og indfaldsvejsscenariet er beton den vejbelægning, som bør benyttes, da alle relevante evalueringskriterier peger på dette frem for asfalt og Densiphalt. Dette underbygges endnu mere af den følsomhedsanalyse, der er foretaget. Følsomhedsanalysen viser, at selv ved store ændringer af forudsætningerne ændres der ikke på det faktum, at beton bør anbefales til trafikerede veje som de to scenarier heri rapporten.

"Stop med at eksperimentere og benyt udenlandske erfaringer!"

Årsagerne til de dårlige resultater med betonveje i Danmark skyldes, at betonbelægningerne er udlagt på forsøgsbasis, hvorfor der hele tiden er prøvet nye metoder frem for at blive ved med at benytte de metoder, der fungerede. Det vurderes, at hverken tiden eller økonomien har været tilstrækkelig til at opnå erfaring og derigennem gode resultater. Senere grundet disse dårlige resultater er også opbakningen til betonveje forsvundet.

Beton bør igen overvejes som vejbelægning i Danmark med begrundelse i rapportens resultater. Efterhånden er der her i Danmark opnået nogle erfaringer. Desuden bør der trækkes på den udenlandske erfaring og ekspertise, således vejene udføres og rådgives af personer, der er vant til at arbejde med betonbelægninger.

"Trafikbelastningen i Danmark ligner den udenlandske!"

Da trafikmængderne i Danmark begynder at ligne de udenlandske mere og mere, er argumentet for at vælge beton forbedret. Det bør i første omgang kun være nødvendigt at benytte uarmerede betonbelægninger som eksempelvis i USA, hvorfor belægningsomkostningerne også mindskes i forhold til armerede betonbelægninger. Desuden

skal belægningerne udføres som slipform pavement med tværfuger og dyvler. Hertil kan overfladestrukturen udføres ved frilægning af skærver, hvorfor det mindste støjniveau opnås.

"Densiphalt og beton kan opfylde alle tekniske krav!"

Det konkluderes, at både asfalt, beton og Densiphalt kan opfylde kravene i de danske vejregler. Beton skiller sig ud, ved dets lyse farve og ved at have den største bæreevne, mens asfalt støjer mindst. Densiphalt indtager en plads mellem asfalt og beton, hvilket også er forventet, da det forsøger at sammensætte fordelene fra både asfalt og beton. Analysen har imidlertid vist, at Densiphalt på nuværende tidspunkt ikke er i stand til at opnå begge materialers fordele fuldt ud, hvorfor Densiphalt må betegnes som en mellemting, der dermed også kun har opnået medium værdier af de tekniske parametre. Desuden bør udlægningsmetoden for Densiphalt forbedres, inden materialet bør bruges til almindelig vejbygning.

Det konkluderes ud fra den samfundsøkonomiske analyse, at Densiphalt stadig bør vælges frem for asfalt, da det kun er ved en halvering af henholdsvis trafikvæksten eller tidsomkostninger, at disse to bytter plads. Det vurderes dog som mindre interessant, eftersom det ingen indvirkning har på beton som det foretrukne valg.

"Samfundsøkonomisk analyse bør indgå i udvælgelsen af vejbelægning!"

Endeligt konkluderes det, at det vil være fejlagtigt ikke at undersøge andre muligheder end asfalt til brug som vejbelægninger i fremtidens veje. Her er det særligt ved nyanlæg, at det kan være en fordel at sammenligne asfalt med andre vejbelægningsmaterialer inden valget træffes. Valget bør ikke alene træffes på baggrund af anlægsprisen men bør underbygges af en samfundsøkonomisk analyse ved større nyanlæggelser. Denne kunne passende indgå inden anlæggelsen bliver udbudt, da vejmyndigheden dermed på baggrund af en sådan analyse kan bestemme, hvad der skal uddybes. Projektet her har vist, at det ved at benytte en samfundsøkonomisk analyse vil være fordelagtigt med andre vejbelægninger, hvorfor incitamentet for at benytte sådanne analyser i fremtidige udvælgelser af belægninger er yderligere underbygget.

13. Perspektivering

Ud over at denne rapport viser at det teknisk og økonomisk vil være fordelagtigt med alternativer til asfalt, kan der være andre faktorer, der ikke er medtaget i analysen, der kan styrke begrundelsen om, hvorvidt der skal anvendes alternative belægninger. Dette kapitel vil kort præsentere disse faktorer.

For tiden er miljø og især udledning af CO_2 et ofte debatteret emne, og der bliver lagt mange strategier for at reducere CO_2-udledningen, både på et statsligt plan men også virksomhedsmæssigt. Transportsektoren bidrager med en ikke ubetydelig del af de samlede udledninger, hvorfor en reducering af CO_2-udledningen vil være til gavn for miljøet.

Som det fremgår af afsnit 11, er der umiddelbart et stort potentiale i reducering af CO_2 og andre skadelige partikler, ved at vælge alternative belægninger. Det kunne dermed være fordelagtigt at inddrage disse effekter i et fremtidigt belægningsvalg, så belægningerne bliver analyseret som en endnu større helhed og dermed yderlige underbygger et givent resultat.

Yderligere vil det være interessant at sammenholde og inddrage en livscyklusanalyse for asfalt og belægningsalternativerne. Dette vil igen være med til at understøtte, hvilken belægning der vil være mest bæredygtig.

Miljøaspektet kunne dermed være med til at brande de alternative belægninger og være endnu et argument for, hvorfor det vil være fordelagtigt at anlægge eksempelvis betonveje.

Hvis det ikke ønskes at anvende Densiphalt, beton eller andre alternative belægninger til direkte belægningsmateriale på vejstrækninger, er det gruppens vurdering, at belægningernes potentiale er så stort, at en anden anvendelse burde overvejes. En løsning kunne være at benytte Densiphalt og beton i eksempelvis rundkørsler og kryds, hvor belægningerne bliver udsat for andre belastninger end på en vejstrækning. Densiphalt og beton vil kunne modstå belastningerne bedre end asfalt, og trafikkanten vil yderligere bliver gjort opmærksom på ændringer i vejens brug, da der sker et belægningsskift. Rapporten vil dermed kunne anvendes som dokumentation for, at de to alternative belægninger kan leve op til de danske tekniske krav.

Som det også fremgår af rapporten, er gruppens vurdering af Densiphalt, at det vil være nødvendigt med videreudvikling af produktet, inden det anvendes som vejbelægning. Gruppen afskriver dermed ikke Densiphalt som en alternativ belægning, da der er potentiale i lagets større bæreevne. En løsning i fremtiden kunne være at benytte Densiphaltbelægningen som et bærelag for slidlaget for derved at mindske dannelsen af sporkøring. På denne vis undgås det også at skulle udskifte Densiphaltlaget, da der blot kan udlægges et nyt asfaltslidlag som normalt. Dette er en stor fordel, da udskiftningen er meget dyrere end asfalt, hvorfor Densiphalts evne til vejbygning forbedres.

Denne rapport har kun taget udgangspunkt i Densiphalt og beton, men der findes en række andre belægninger, der kunne være med til at ændre og forbedre den nuværende

vejopbygning. Det anbefales derfor at udviklingen af disse løbende følges. Yderligere har det vist sig, at der findes mange erfaringer i udlandet, hvorfor det anbefales at disse også løbende følges.

Som en sluttelig bemærkning kan det nævnes, at det vil være en stor fordel at indføre belægningsalternativer til asfalt med hensyn til konkurrencen og økonomien. Som situationen er i 2008, er asfaltindustrien totaldominerende på det danske marked. Ved at få en ekstra producent på markedet vil der opstå en naturlig konkurrence, der vil gavne prisen på materialerne. Yderligere kan det med tiden vise sig, at der vil være endnu flere penge at spare ved at anvende beton på grund af de kraftigt stigende oliepriser, der forøger prisen på asfalt.

14. Litteraturliste

Litteraturlisten er opbygget på følgende vis:

[Forfatter udgivelsesår]
Forfatter; Titel; Udgiver; Udgivelsessted; Webside; Dato for besøg af webside; Udgivelsesår

[Aalborg Portland 1993]
Aalborg Portland; Beton er vejen frem; Aalborg Portland; Orienteringsmateriale fra pressemøde i Industriens Hus, København; 1993

[Abrahamsen 2008]
Kåre Abrahamsen; Interview med Kåre Abrahamsen; Vejdirektoratet; 2008

[ACPA 2006]
American Concrete Pavement Association; For the Long Haul; American Concrete Pavement Association; 2006

[ACPA 2007]
American Concrete Pavement Association; Conserving Fuel in the Road; American Concrete Pavement Association; 2007

[ACPA 2008]
American Concrete Pavement Association; Why Concrete Pavement?; American Concrete Pavement Association; www.pa.pavement.com/why.htm; 21. februar 2008; 2008

[ACPA 2008a]
American Concrete Pavement Association; Enlightened; American Concrete Pavement Association; http://www.pavements4life.com/QDs/Safety_2Lighting.asp; 15. april 2008; 2008

[Amdi 2008]
Frede Amdi; Interview med Frede Amdi; NCC Roads A/S; 2008

[Andersen et al 2004]
Bent Andersen, Hans Bendtsen, Bjarne Schmidt og Carsten Bredahl Nielsen; Måling af trafikstøj på M10 ved Solrød. Eksternt notat 21; Vejdirektoratet - Vejteknisk Institut; 2004

[Andersen 2008]
Søren Andersen; Interview med Søren Andersen; Projektchef; Vejdirektoratet Skanderborg; 2008

[Bager et al. 1995]
Dirch Bager; Ny tænkning i dansk vejbygning; Dansk Vejtidsskrift; Nr. 12/ 1995; 1995

[Banke 2005]
Jørgen Banke; Stradograf og friktion; Vejdirektoratet, 2005

[Brix 2008]
Claus Brix; Friktionsmålinger af Densiphalt; Densit ApS, 2008

[CAC 2008]
Cement Association of Canada; Types of concrete Pavement; Cement Association of Canada; http://www.cement.ca/cement.nsf/ep/7B19B4869CE1B260852568C500583DC6?opendocument; 2. april 2008; 2008

[City of Springfield 2006]
City of Springfield, Oregon; Traffic Standards; http://www.ci.springfield.or.us/pubworks/design/05.00_Traffic_Standards.pdf; 15. april 2008; 2006

[Clasen 2007]
Gusta Clasen; Støj generer mest om natten; Bolius – Boligejernes Videncenter; http://www.bolius.dk/viden/nyheder/2007/juni/mindre-stoj-om-natten; 6. juni 2007; 2007

[Colas 2008]
Colas; Stabiflex; Colas; www.colas.dk/object.php?obj=c8000c; 27. februar 2008; 2008

[Colas 2008a]
Colas; Hvad er støjsvag asphalt?; Colas; http://www.colas.dk/3810029; 20 maj 2008; 2008

[Daikin 2008]
Daikin; Spørgsmål og svar - N° 30; Daikin; http://www.daikin.dk/faq/items/power-pressure.jsp; 29. maj 2008; 2008

[Danmarks Statistik 2008]
Danmarks Statistik; www.statistikbanken.dk; 2008

[Danmarks Statistik 2008a]
Danmarks Statistik; Forbrugerprisindeks og årlig inflation; http://www.dst.dk/Statistik/seneste/Indkomst/Priser/FPI_inflation.aspx; 9. maj 2008; 2008

[Debroux et al. 2006]
Raymond Debroux, Zdenek Kral, Marc Lemlin og Luc Wansart; Bituminous and reinforced concrete pavements for motorways – An economic comparison; Walloon Ministry of Infrastructure and Transport (MET) – General Directorate of Motorways and Roads; Les cahiers du MET nr. 24; 2006

[Energitilsynet 2007]
Energitilsynet; Elprisstatistik oktober 2007;

http://www.energitilsynet.dk/prisstatistik/elektricitet/statistik-efter-januar-2007/elprisstatistik-oktober-2007/; 17. april 2008; 2007

[Eriksson 2000]
Lars Eriksson; Slår ett slag för betongväggen; Ny Teknik; www.nyteknik.se/nyheter/verkstad/verkstadsartiklar/article11940.ece; 25. februar 2008; 2000

[Ertman 2008]
Hans Jørgen Ertman; Telefoninterview angående støjmålinger; Vejdirektoratet; 29 maj 2008; 2008

[EucoDensit 2008]
EucoDensit; Densiphalt Handbook; http://www.eucodensit.com/product_detail.asp?id=1; 16. april 2008; 2008

[EuroCapital 2007]
EuroCapital; Biler taber forskelligt i værdi - salgstiden er også meget varieret; EuroCapital; http://www.billeasing.dk/tabp%C3%A5bil.htm; 6. maj 2008; 2007

[FHWA 1980]
Federal Highway Administration; FUEL USAGE FACTORS FOR HIGHWAY CONSTRUCTION; U. S. Department of Transportation; http://www.fhwa.dot.gov/programadmin/contracts/ta50803.htm; 23. april 2008; 1980

[Finansministeriet 1999]
Finansministeriet; Vejledning i udarbejdelse af samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger; Finansministeriet; 1999

[Gajda & VanGeem 2001]
John Gajda and Martha VanGeem; A Comparison of Six Environmental Impacts of Portland Cement Concrete and Asphalt Cement Concrete Pavements; Research & Development Information; Portland Cement Association; 2001

[Granath 2008]
Johan Granath; Betong banar VÄGEN; Betong; Nummer 1/08; 2008

[Granhed 1991]
Bengt Granhed; Nu bygger svenskerne igen betonveje; Dansk Vejtidsskrift; Nummer 6-7/1991; 1991

[Halskov 2008]
Kristian Halskov; Diesel stiger igen igen igen igen; Jyllands Posten, Erhverv På Nettet; http://epn.dk/industri/energi/article1351817.ece; 27. maj 2008; 2008

[Hede 1996]
Jens Christian Helbech Hede; Økonomisk sammenligning af asfalt og beton; Eksamensprojekt; Institut for planlægning – DTU; 1996

[Henrichsen 1995]
Anders Henrichsen; Forsøgsbelægning med ECOPAVE ved Holsted; Dansk vejtidsskrift; Nr 12, 1995; 1995

[Hultquist & Carlsson 2002]
Bengt-Åke Hultquist og Bo Carlsson; Betongväg vid Arlanda; Vägverket; 2002

[Hultquist & Carlsson 2002a]
Bengt-Åke Hultquist og Bo Carlsson; Betongväg på E20 vid Eskilstuna; Vägverket; 2002

[Infrastrukturkommissionen 2008]
Infrastrukturkommissionen; Danmarks Transportinfrastruktur 2030; Infrastrukturkommissionen; 2008

[Ingerslev 1978]
Fritz Ingerslev; Måling af støj ved bilkørsel på prøvestrækninger på vestmotorvejen Køge – Ringsted; Statens Vejlaboratorium; 1978

[Jasienski et al. 2006]
André Jasienski; A Glace at The Belgian Experience In Concrete Pavements; 10th International Symposium on Concrete Roads; 2006

[Jegsen & Lorentzen 1991]
Mads Jegsen og Michael Lorentzen; Livscyklus for en betonvej; Institut for veje, trafik og byplan – DTH; 1991

[Jensen 2001]
Arne Damgård Jensen; En god gammel betonvej; Teknologisk Institut; Dansk Beton; Nr. 2, Maj 2001; 2001

[Jensen 2008]
Carsten Drangsfelt Jensen; Mail korrespondance NCC Roads A/S; 2008

[Jensen 2008a]
Bjarne Bo Jensen; Mail korrespondance og telefoninterview; NCC Roads A/S; 2008

[Johannsen 2007]
Hans Henrik Winther Johannsen; Kursus i Trafikøkonomi og Projektvurdering; Aalborg Universitet; 2007

[Justesen 1990]
Chr. F. Justesen; Betonbelægninger i andre lande; Dansk Vejtidsskrift; Nummer 3/1990; 1990

[Justitsministeriet 2007]
Justitsministeriet; Bekendtgørelse af færdselsloven; Lovtidende A; Justitsministeriet; 2007

[Kragh et al. 2006]
Jørgen Kragh; User's Guide Nord2000 Road; 2006

[Københavns Kommune 2008]
Københavns Kommune; Trængselsafgifter inden 2010?; Københavns Kommune; http://www3.kk.dk/Aktuelt/Nyheder/Traengselsafgifter.aspx; 27. maj 2008; 2008

[Lauridsen 2007]
Finn M. Lauridsen; NCC Roads A/S; 2007

[Luong 2008]
QT Luong; Atlanta skyline and highway at night. Atlanta, Georgia, USA; Terragalleria.com; http://www.terragalleria.com/photos/?q=atlanta&submit.x=0&submit.y=0; 12. marts 2008; 2008

[McCarthy 2005]
Tim McCarthy; Pavement Type Selection Report (PVD); Wisconsin Department of Transportation; 2005

[Meiarashi & Ohishi 2006]
Seishi Meiarashi & Fjhio Ohishi; Latest development in Japan regarding improved porous elastic road surface; Inter-Noise; http://www.pwri.go.jp/eng/kokusai/reports/meiarashi06.12.2.pdf; 14. april 2008-04-15; 2006

[Mellgren 2007]
Erik Mellgren; Tystare väg med betong; Ny Teknik; www.nyteknik.se/nyheter/verkstad/verkstadsartiklar/article42141.ece?service=print; 25. februar 2008; 2007

[Mikkelsen 1999]
Sonja Mikkelsen; Motorvej 18; Trafikudvalget; http://www.rute18.dk/default.asp?id=184; 13. marts 2008; 2008

[Miljøministeriet 2005]
Miljøministeriet; Miljømæssige udviklingstendenser inden for godstransporten og indsatsbehov vedrørende godstransport; Miljøstyrelsen; Miljøprojekt nr. 1038; http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2005/87-7614-804-1/html/helepubl.htm; 6. maj 2008; 2005

[Munck 2008]
Munck Asfalt A/S; Det Grønne Index for asfalt; http://www.munck-asfalt.dk/index.php?page=62; 12. marts 2008; 2008

[Munksgaard & Albrechtsen 2000]
Mikkel Munksgaard og Niels Albrechtsen; Samfundsøkonomiske vurderingsmetoder i transportsektoren; Konferencepapir – Trafikdage på Aalborg Universitet; 2000

[NCC 2001]
NCC Danmark A/S Asfalt; Vejbygning – Materialer, Belægninger, Belægninger; 2001

[NCC 2007]
NCC Roads A/S; Praktikophold ved NCC, 2007

[NCC 2008]
NCC Roads A/S; Densiphalt; www.densiphalt.dk; 17. april 2008; 2008

[NCC 2008a]
NCC Roads A/S; Råd og vink 2008; 2008

[Neuhauser 2008]
Curt Neuhauser; Design og pris af betonbelægninger; Mail korrespondance; Wisconsin Department of Transportation; 2008

[Nielsen 2008]
Anders Elleby Nielsen; De vigtigste danske veje forfalder; Jyllands Posten; http://jp.dk/indland/trafik/article1289538.ece; 13. marts 2008; 2008

[NOAH 2003]
NOAH – Trafik; Høringssvar fra NOAH – Trafik; http://www.noah.dk/trafik/stoj2003.html; 19. maj 2008; 2003

[NRMCA 2008]
National Ready Mixed Concrete Association; Concrete Streets – A Close Look at a Good Buy; http://www.concreteparking.org/Concrete_Streets/Streets.htm; 3. april 2008; 2008

[Odense Kommune 2008]
Odense Kommune; Vedligeholdelsesniveau; http://ww.odense.dk/ODENSE/Vejman.nsf/ForklaringVedligehold?OpenPage; 26. maj 2008; 2008

[Oliebranchen i Danmark 2008]
Oliebranchen i Danmark; Prisudvikling – Danmark; http://www.oliebranchen.dk/Priser/Prisudvikling/Danmark.aspx; 9. april 2008; 2008

[Packard 1994]
Robert G. Packard; Pavement Costs and Quality; American Concrete Pavement Association; 1994

[Pedersen 2006]
Jørgen Pedersen (Cowi); Kursus i vejbygning; Aalborg Universitet; 2006

[PennDOT 2008]
Pennsylvania Department of Transportation; International Roughness Index; Pennsylvania Department of Transportation; http://www.penndot8.com/iri.htm; 29. maj 2008; 2008

[Puckman 1987]
Knud Puckman; Betonveje i Danmark 1923 – 1984; Vejdirektoratet, Statens Vejlaboratorium; Laboratorierapport 64; 1987

[Quist & Kirk 1995]
Paul Saxberg & Jørgen Sand Kirk; Moderne Betonbelægninger; Danmarks Tekniske Universitet; Notat 1995-6; 1995

[Schmidt 2003]
Bjarne Schmidt; Vejes jævnhed og bilers hastighed – er oplevelsen af en vejs jævnhed afhængig af bilers hastighed; Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut; 2003

[Seiler-Scherer 2004]
L. Seiler-Scherer; Is the correlation between pavement skid resistance and accident frequency significant?; IVT-ETH Zürich; Conference paper STRC 2004; 2004

[Smith 2006]
Tim Smith; Helping Build A Sustainable Future By Constructing Roadways with Portland Cement Concrete Pavement; Cement Association of Canada; 2006

[Soos 2008]
Filip Soos; Bilister suser forbi vejarbejde; Berlingske Tidende; 23. april 2008; 2008

[Stidsen 2007]
Niels Nørskov Stidsen; Bedre lys bruger mindre strøm; Vestforsyning; Nyhedsmagasin, november 2007; 2007

[Sundhedsstyrelsen 2005]
Sundhedsstyrelsen; Vejledning om filmbetragtningskasser til røntgenbilleder; Statens Institut for Strålehygiejne;
http://www.sst.dk/upload/forebyggelse/sis/roentgenomraadet/rtg_vejledninger/vejledning_030105.pdf; 29. maj 2008; 2005

[Sørensen 1995]
Anker Sørensen; Betonveje – ja eller nej?; Dansk Vejtidsskrift; Nummer 12/1995; 1995

[Taylor et al. 2002]
G. W. Taylor, Patrick Farrell and Anne Woodside; Additional Analysis of the Effect of Pavement Structure on Truck Fuel Consumption; G. W. Taylor Consulting; 2002

[Taylor & Patten 2006]
G. W. Taylor and J. D. Patten; Effects on Pavement Structure on Vehicle Fuel Consumption – Phase III; Centre for Surface Transportation Technology (CSTT); National Research Council of Canada (NRC); 2006

[Thagesen et al. 2000]
Bent Thagesen et al.; Veje og Stier; Polyteknisk Forlag; 2000

[Thøgersen 1997]
Finn Thøgersen; Betonstrækningen Ølby – Ringsted, Status efter 20 års periode; Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut; Rapport 81; 1997

[Thøgersen 2006]
Finn Thøgersen; Betonvejen på Falster, km 109 – 116; Vejdirektoratet; Internt notat om tilstand og renoveringsforslag; 2006

[Thøgersen 2008]
Finn Thøgersen; Mail korrespondance vedr. friktion; 29 april 2008; 2008

[Trafikministeriet 2003]
Trafikministeriet; Manual for samfundsøkonomisk analyse – anvendt metode og praksis på transportområdet; Trafikministeriet; 2003

[Transportministeriet 2008]
Transportministeriet; Transportøkonomiske Enhedspriser til brug for samfundsøkonomiske analyser; Udarbejdet af DTU Transport og COWI; Version 1.0; Transportministeriet; 2008

[Tækker 2006]
Christina Tækker; COWI; www.cowi.dk/cowi/da/menu/news/newsarchive/2006/dengodeideliggerunderasfalten.htm; 27. februar 2008; 2006

[University of Washington 2005]
University of Washington; Pavement Guide Interactive; University of Washington; http://training.ce.washington.edu/PGI/; 2. april 2008; 2005

[US Department of Transportation 2007]
US Department of Transportation; Long-life Concrete Pavement in Europe and Canada; US Department of Transportation; 2007

[US Department of Transportation 2008]
US Department of Transportation; Highway Statistics 2006; http://www.fhwa.dot.gov/policy/ohim/hs06/index.htm; 12. marts 2008; 2008

[US Department of Transportation 2008a]
US Department of Transportation; Most travelled urban highways; http://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/tables/02.cfm; 2. juni 2008; 2008

[Vägverket 2007]
Vägverket; Vi utför provsträckor med gummiasfalt; http://www.vv.se/filer/210/broschyr_gummiasfalt_070807.pdf; 14. april 2008; 2007

[Vejdirektoratet 1992]
Vejdirektoratet; Undersøgelse af større hovedlandevejsprojekter – Metode for effektberegninger og økonomisk vurdering; Vejdirektoratet; 1992

[Vejdirektoratet 1998]
Vejdirektoratet; Virkemidler og deres effekter; Vejtrafik og støj – grundbog; Rapport 146; http://www.Vejdirektoratet.dk/dokument.asp?page=document&objno=6353; 19. maj 2008; 1998

[Vejdirektoratet 2002]
Vejdirektoratet; Accelererede belægnings- og isoleringsarbejder; http://www.Vejdirektoratet.dk/publikationer.asp?page=document&objno=69457; 29. april 2008; 2002

[Vejdirektoratet 2002a]
Vejdirektoratet; Motorvej Herning – Århus ved Silkeborg; VVM-redegørelse - Hovedrapport; Vejdirektoratet; 2002

[Vejdirektoratet 2004]
Vejdirektoratet; Støjdæmpende vejbelægninger på Motorring 3; Vejteknisk Institut; www.Vejdirektoratet.dk/publikationer/VInot019/html/chapter05.htm; 27. februar 2008; 2004

[Vejdirektoratet 2004a]
Vejdirektoratet; Konstruktion og vedligeholdelse af stier og veje, Hæfte 4, Vedligeholdelse af færdselsarealet; Vejdirektoratet, Vejregelrådet; 2004

[Vejdirektoratet 2005]
Vejdirektoratet; Rute 18: Motorvej Riis-Ølholm-Vejle; VVM-redegørelse – Sammenfattende rapport; Vejdirektoratet; 2005

[Vejdirektoratet 2006]
Vejdirektoratet; Guide til systematisk ulykkesbekæmpelse; Vejdirektoratet; 2006

[Vejdirektoratet 2006a]
Vejdirektoratet; Varmblandet Asfalt – Vejledning; Vejdirektoratet; 2006

[Vejdirektoratet 2006b]
Vejdirektoratet; Varmblandet Asfalt – Almindelig arbejdsbeskrivelse (AAB); Vejdirektoratet; 2006

[Vejdirektoratet 2006c]
Vejdirektoratet; Trafikindeks; Vejdirektoratet; www.Vejdirektoratet.dk/dokument.asp?page=document&objno=69461; 24. februar 2008; 2006

[Vejdirektoratet 2006d]
Vejdirektoratet; Planlægning af veje og stier i åbent land; Vejdirektoratet; 2006

[Vejdirektoratet 2007]
Vejdirektoratet; Statsvejnettet – oversigt over tilstand og udvikling; Vejdirektoratet; Rapport nr. 329; 2007

[Vejdirektoratet 2007a]
Vejdirektoratet; Dimensionering af belægninger og forstærkningsbelægninger; Vejdirektoratet; 2007

[Vejdirektoratet 2008]
Vejdirektoratet; Støjreducerende slidlag – Vejledning; Vejdirektoratet; 2008

[Vejdirektoratet 2008a]
Vejdirektoratet; Længden af offentlige veje pr. 1. januar 2008; Vejdirektoratet; http://www.vejsektoren.dk/wimpdoc.asp?page=document&objno=204291; 30. april 2008; 2008

[Vejdirektoratet 2008b]
Vejdirektoratet; Herning N – Brande og Herning Øst – Snejbjerg; Vejdirektoratet; http://www.Vejdirektoratet.dk/dokumentniveau.asp?page=document&objno=74494; 29. april 2008; 2008

[Vejdirketoratet 2008c]
Vejdirektoratet; VIS – Vejsektorens InformationsSystem; http://www.vejsektoren.dk/temavis.asp?page=dept&objno=58017; 30. april 2008; 2008

[Vejdirektoratet 2008d]
Vejdirektoratet; Håndbog for afmærkning af vejarbejder m.m.; Vejdirektoratet; 2008

[Vinding 1993]
Ib Vinding; Myter om betonveje; Aalborg Portland; Dansk Vejtidsskrift nr. 5, 1993; 1993

[WAPA 2002]
Washington Asphalt Pavement Association; Asphalt Pavement History; Washington Asphalt Pavement Association; www.asphaltwa.com/wapa_web/01_history.htm; 20. februar 2008; 2002

[Wikipedia 2008]
Wikipedia – Den frie encyklopædi; Totalvægt; Wikipedia; http://da.wikipedia.org/wiki/Totalv%C3%A6gt; 8. april 2008; 2008

[Wikipedia 2008a]
Wikipedia – Den frie encyklopædi; E-værdi; Wikipedia; http://da.wikipedia.org/wiki/E-v%C3%A6rdi; 14. maj 2008; 2008

[WisDOT 2006]
Wisconsin Department of Transportation; Joint maintenance and repair on dowled, jointed Plain Concrete Pavement; Wisconsin Department of Transportation; http://www.transportation.org/sites/research/docs/tsrjointrepair.pdf; 1. april 2008; 2006

[WisDOT 2007]
Wisconsin Department of Transportation; Praktikophold, Wisconsin Department of Transportation, 2007

[WisDOT 2008]
Wisconsin Department of Transportation; Standard Specifications; Wisconsin Department of Transportation; http://roadwaystandards.dot.wi.gov/standards/stndspec/index.htm; 28. marts 2008; 2008

[WisDOT 2008a]
Wisconsin Department of Transportation; Facilities Development Manual; Wisconsin Department of Transportation; http://roadwaystandards.dot.wi.gov/standards/fdm/index.htm; 29. marts 2008; 2008

Christian Fræhr & Søren V. Knudsen
Aalborg Universitet
Vej- og Trafikteknik
Afgangsprojekt 2008