

VegDim **Gevinstrealisering**

ViaNova Plan og Trafikk AS

ViaNova Trondheim AS

2020-08-11

Blank side

<i>Oppdragsrapport</i>	
VegDim	
Gevinstrealisering	
Oppdragsgiver	Statens vegvesen
Oppdragsgivers referanse	Leif Bakløkk leif.baklokk@vegvesen.no Brynhild Snilsberg brynhild.snilsberg@vegvesen.no
Rapport-type	Oppdragsrapport
Prosjektnummer	VN PT – 20979
Rapportdato	2020-08-11
Oppdragsansvarlig	Johnny M Johansen johnny.m.johansen@vianova.no
Utarbeidet av	Johnny M Johansen Ingvild Ødegård Ragnar Evensen
Oppdragsgruppe	Johnny M Johansen Ingvild Ødegård Ragnar Evensen
Sammendrag	Rapporten dokumenterer resultatet fra vurdering av gevinster ved implementering av system (ERAPave) for analytisk (mekanistisk-empirisk) dimensjonering av vegoverbygning i Norge, sett opp mot dagens empiriske system som gitt av vegnormal N200 Vegbygging. Rapporten omfatter utredninger vedrørende potensielle gevinster innenfor relevante influensområder og for relevante interessenter.
ViaNova Plan og Trafikk AS Leif Tronstads Plass 4 Postboks 434, 1302 SANDVIKA E-post: vnpt@vianova.no Tlf: 67 81 70 00 ♦ Fax: 67 81 70 01	

Blank side

Innhold

Sammendrag	7
1 Innledning	9
2 VegDim: Gevinstrealisering	10
2.1 Oppgavedefinisjon	10
2.2 Gevinstrealisering – Avgrensning.....	10
2.3 Gevinstberegning: Teoretisk grunnlag	10
3 Implementering av analytisk dimensjonering	13
3.1 Analytisk dimensjonering.....	13
3.2 Dagens system for dimensjonering	14
3.3 Endringer i rammebetingelser	14
3.4 VegDim – motiver, mål og effekter	15
4 Analytisk dimensjonering USA	17
4.1 Innledning	17
4.2 NCHRP: A Synthesis of Highway Practice 2014.....	17
4.3 Litteraturstudie: Implementering MEPDG.....	19
4.3.1 Innledning	19
4.3.2 Oppsummering	19
5 Gevinstbeskrivelse	21
5.1 Influensområder.....	21
5.2 Potensielle gevinster	22
5.3 Berørte aktører.....	29
5.3.1 Interessenter	29
5.3.2 Brukergrupper	30
6 Gevinstberegning	32
Vedlegg A Litteraturstudie: Implementering MEPDG	34
A1 LITTERATURSTUDIUM	34
A1.1 Sammendrag.....	34
A1.2 Funn.....	34
A1.3 Oppsummering.....	37
A2 UTDRAK FRA LITTERATURSTUDIUM	38
A3 REFERANSER	53

Sammendrag

Gevinster ved implementering av system (ERAPave) for analytisk (mekanistisk-empirisk) dimensjonering av vegoverbygning i Norge, er vurdert sett opp mot dagens empiriske system som gitt av vegnormal N200 Vegbygging. Arbeidet omfatter utredninger vedrørende potensielle gevinster innenfor relevante influensområder og for relevante interessenter.

Direktoratet for økonomistyring beskriver gevinstrealiseringsprosessen med 4 trinn som vist nedenfor:



VegDim's prosjektmodell har gevinstrealisering som et tverrgående tema, dvs. integrert i den samlede prosjektvirksomheten, i form av implementeringstiltak og kompetansehevingstiltak rettet mot forbedring av arbeidsprosesser og ressursbruk. Dette arbeidet omfatter derfor en separat gevinstberegning ved oppstart av prosjektet VegDim, basert på prosjektets mål og noen gitte forutsetninger (potensiell gevinst).

Gevinstberegningen er basert på det teoretiske grunnlaget som skisseres av Direktoratet for økonomistyring samt en beskrivelse av rammebetingelser og mål for implementering av analytisk dimensjonering i Statens vegvesen. Disse rammebetingelsene og målene er beskrevet gjennom følgende tema:

- Analytisk dimensjonering: Systembeskrivelse
- Dagens system for dimensjonering (N200)
- Endringer i rammebetingelser
- VegDim: motiver, mål og effekter

USA innførte et analytisk (mekanistisk-empirisk) system for dimensjonering av vegoverbygning fra om lag 2010. Det er derfor gjort en undersøkelse av hvordan USA beskriver nytten av denne endringen (litteraturstudie). Undersøkelsen viser at kvantitative nytteberegninger er i praksis ikke-eksisterende, men det finnes flere kilder som dokumenterer nytteeffekter kvalitativt. Denne undersøkelsen gir også en stor mengde nyttig informasjon vedrørende implementering av analytisk dimensjonering.

For norske forhold er det identifisert flere områder der man kan oppnå gevinst ved overgang til analytisk dimensjonering:

- Vegbygging: Dimensjonering av vegoverbygning
- Forsterkning av veg: Dimensjonering av forsterkningstiltak
- Utredning og analyse: Faglig verktøy
- Kompetanse innen vegsektoren

Gevinstene ved overgang til analytisk dimensjonering er oppsummert nedenfor.

Effektiviseringsgevinster for staten (vegholder)

Overgang til analytisk dimensjonering gir ikke noen umiddelbar effektiviseringsgevinst for arbeidsprosessen dimensjonering innen vegbygging og forsterkning av veg. Sannsynligvis vil ressursbruken for disse arbeidsprosessene øke.

Det er heller ikke sannsynlig at overgangen gir direkte besparelser for oppbyggingen av vegoverbygningen (lagtykkelser og materialer).

Derimot gir analytisk dimensjonering grunnlag for optimalisering av vegoverbygningen og bruk av alternative materialer som kan gi besparelser på lang sikt med hensyn til levetidskostnader (LCC) og miljøforhold (LCA). Tilsvarende kan også gjelde for den økte kvalitetssikring, nøyaktighet og pålitelighet som analytisk dimensjonering gir både med hensyn til vegoverbygningens oppbygning, tilstandsutvikling og framtidig vedlikehold. Videre vil også digitaliseringen som muliggjøres gjennom analytisk dimensjonering kunne virke effektiviserende for flere delprosesser i et veganleggs livsløp fra planlegging via bygging til driftsfase.

Videre gir system for analytisk dimensjonering økt utredningskapabilitet for overordnede utredninger for revidering av vegnormaler og retningslinjer eller endring av annet regelverk, men også for analyse og alternativvurdering i vegprosjekter

VegDim og ERAPave vil være et av verktøyene som vil bidra til å realisere nytten som er beskrevet i FoU-prosjektet Varige veger.

Kvalitetsgevinster for staten (vegholder)

Overgang til analytisk dimensjonering vil føre til bedre kvalitetssikring og større nøyaktighet og pålitelighet for resultatene fra dimensjoneringen. Dette vil gi kvalitetsgevinster for mange sider av vegbygging og forsterkning. System for analytisk dimensjonering kan bidra til raskere avklaring på mange problemstillinger.

Arbeidsformen kan også bidra til større tillit til arbeidsfeltet generelt og resultatene fra dimensjoneringen med tilhørende tilstandsutvikling spesielt. Dette vil også bidra til økt tillit til Statens vegvesen som vegmyndighet og vegholder.

Digitaliseringen av arbeidsprosessen som analytisk dimensjonering kan innebære, kan medføre bedre kvalitetssikring i arbeidet og større sikkerhet ved overføring av informasjon fra dimensjonering til utførelse av bygging og forsterkning og representerer dermed en kvalitetsgevinst.

Gevinster for øvrige aktører

System for analytisk dimensjonering kan tas i bruk av andre aktører enn Statens vegvesen; alle vegholdere og vegutbyggere (fylkeskommuner, kommuner, private), entreprenører og rådgivende ingeniører. Disse vil da kunne oppnå tilsvarende effektiviseringsgevinster og kvalitetsgevinster som staten.

Undervisningsinstitusjoner vil få forbedret undervisningsmaterieell med sterk kobling til flere fagfelt innen veg. FoU-institusjoner vil få analyse- og utredningsmuligheter for generelle problemstillinger innen flere fagområder innen vegsektoren, både tekniske, miljømessige og samfunnmessige.

Bidrag til virksomhetens mål

Mål i kommende Nasjonal transportplan 2022-2033 er et effektivt, miljøvennlig og trygt transportsystem i 2050. Hovedmålet er brutt opp i fem konkrete mål med sterkt fokus på brukerne, hvorav implementering av analytisk dimensjonering vil bidra til oppfyllelse av i alle fall disse tre:

- Mer for pengene
- Effektiv bruk av ny teknologi
- Bidra til oppfyllelse av Norges klima- og miljømål

1 Innledning

VegDim er et FoU-program i regi av Statens vegvesen som skal pågå i 5 år i perioden 2018 – 2022.¹

Målet med FoU-programmet er å utvikle og ta i bruk et analytisk dimensjonerings-system for dekkekonstruksjoner. Dette verktøyet skal tilpasses norske forhold og byggemetoder slik at livsløpskostnader og miljøeffekter blir tatt hensyn til ved planlegging og optimalisering av vegkonstruksjoner. Hovedleveransen fra FoU-programmet vil være et nytt dimensjoneringsystem (dataverktøy) og en dimensjoneringspraksis der en har større fleksibilitet og mulighet til å dokumentere konsekvenser av ulike valg av standard.

Arbeidet i FoU-programmet gjennomføres i tre arbeidspakker:

Arbeidspakke 1: Nytt dimensjoneringsystem

Arbeidspakke 2: Miljøeffekter

Arbeidspakke 3: Fremtidige krav

Arbeidspakke 1 omfatter arbeid med vurdering av gevinster ved implementering av system (ERAPave) for analytisk (mekanistisk-empirisk) dimensjonering av vegoverbygning i Norge, sett opp mot dagens empiriske system som gitt av vegnormal N200 Vegbygging.

Denne rapporten omfatter utredninger vedrørende potensielle gevinster innenfor relevante influensområder og for relevante interessenter.

¹ <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning+og+utvikling/pagaende-fou-program/vegdim>

2 VegDim: Gevinstrealisering

2.1 Oppgavedefinisjon

Oppgaven omfatter vurdering av gevinster ved implementering av system (ERAPave) for analytisk (mekanistisk-empirisk) dimensjonering av vegoverbygning i Norge, sett opp mot dagens empiriske system som gitt av vegnormal N200 Vegbygging.

2.2 Gevinstrealisering – Avgrensning

Direktoratet for økonomistyring beskriver gevinstrealiseringsprosessen med 4 trinn som vist nedenfor²:



VegDim's prosjektmodell har gevinstrealisering som et tverrgående tema, dvs. integrert i den samlede prosjektvirksomheten, i form av implementeringstiltak og kompetansehevingstiltak rettet mot forbedring av arbeidsprosesser og ressursbruk.

Deloppgave 04 Gevinstrealisering omfatter derfor en separat gevinstberegning ved oppstart av prosjektet VegDim, basert på prosjektets mål og noen gitte forutsetninger (potensiell gevinst).

Sett i forhold til gevinstrealiseringsmodellen til Direktoratet for økonomistyring innebærer dette at modulen «Identifisere gevinster» gjennomføres og deretter suppleres med en «Gevinstberegning» med estimering eller vurdering av potensielle framtidige gevinster. De tre påfølgende modulene i gevinstrealiseringsmodellen gjennomføres ikke i denne sammenhengen.

Gevinstberegningen kan imidlertid, om ønskelig, nyttes for å forbedre prosjektets gevinstrealiseringsprosess og eventuelt utarbeide en samlet plan for gevinstrealisering.

2.3 Gevinstberegning: Teoretisk grunnlag

«Gevinst» defineres som

En effekt som blir sett på som positiv av minst en interessent.

«Effekt» defineres som

En forandring i tilstand hos brukere eller i samfunnet som har oppstått som følge av virksomhetens tiltak.

Virksomhetens (Statens vegvesens) tiltak er i dette tilfellet utvikling og implementering av analytisk (mekanistisk-empirisk) dimensjonering av vegoverbygning.

Gevinstberegningen for VegDim starter med identifisering av gevinster. Resultatet dokumenteres i en gevinstoversikt. En gevinstoversikt er en oversikt over sentrale

² Gevinstrealisering Veileder
Direktoratet for økonomistyring, oktober 2014

potensielle gevinster av et prosjekt og sentrale forutsetninger for at disse gevinstene skal kunne realiseres.

En gevinstoversikt bør inneholde følgende:

- prosjektdata (faktaopplysninger om prosjektet) og prosjektinnhold
- mål for prosjektet
- oversikt over sentrale gevinster som skal følges opp, med kvantifiserte estimater, indikatorforslag med målemetode, baseline som det måles mot, når målingen skal foretas, samt hvem som har ansvar for målingen.
- forutsetninger for at gevinstene skal kunne realiseres, og eventuelle forventede utfordringer – hvilke innsatser kreves for realisering av gevinstene
- Tidshorison – når i tid vil gevinsten inntreffe
- Risikoprofil - er det lav, middels eller høy risiko for at gevinsten ikke vil bli realisert
- Hvilke uventede effekter kan prosjektet eller systemet få

Gevinstene bør kategoriseres. Direktoratet for økonomistyring anbefaler følgende hovedkategorier:

- **Effektiviseringsgevinster for staten** er gevinster som gir besparelser på budsjettene til statlige virksomheter. Eksempler på slike gevinster er redusert bemanning og reduserte utgifter til lokaler. Disse gevinstene bør verdsettes i kroner siden de skal synes på virksomhetenes budsjetter.
- **Kvalitetsgevinster for staten** er gevinster som medfører økt kvalitet på ett eller flere områder. Eksempler på kvalitetsgevinster er færre situasjoner med avvik fra normal drift, raskere svar, bedre arbeidsmiljø og økt tillit til en virksomhet. Disse gevinstene kan det være hensiktsmessig kun å tallfeste i fysiske størrelser og beskrive.
- **Gevinster for øvrige aktører** er besparelser og kvalitetsgevinster for kommuner, statsforetak, privatpersoner og privat sektor. Eksempler på slike gevinster er reduserte utgifter til porto, lavere transportutgifter, redusert bemanning, bedre arbeidsmiljø og økt tillit.

Andre kategorier kan være:

- **Bidrag til virksomhetens mål**
På hvilken måte vil gevinsten støtte opp under ett eller flere av virksomhetens mål?
- **Innvirkning på interessenter**
Hvilke interessenter kommer bedre ut enn tidligere, og hvilke kommer dårligere ut?

Gevinstoversikten kan også dokumenteres i et gevinstkart.

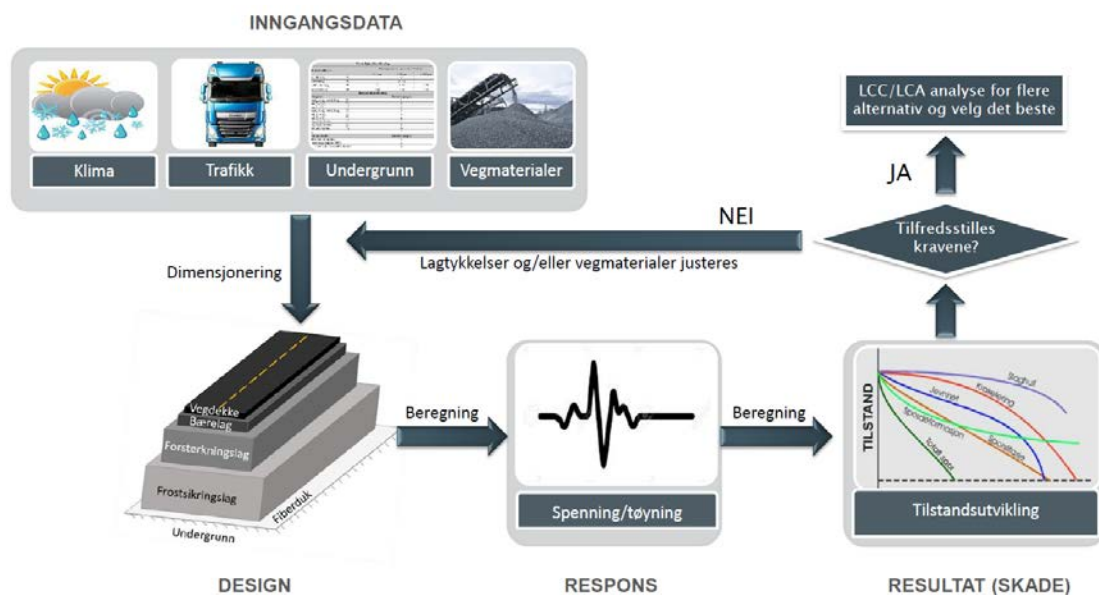
Et gevinstkart er en visuell fremstilling av de gevinstene prosjektet skal gi. Det er en oppstilling av sammenhengen mellom de ulike gevinstene som forventes, og forutsetninger som må oppfylles for at gevinstene skal bli realisert. Gevinstkartet er dermed basert på gevinstoversikten. Ofte er realiseringen av én eller flere gevinster underveis en forutsetning for realiseringen av de “endelige” gevinstene, det vil si de

gevinstene som til slutt skal føre til at effektmålet for prosjektet oppnås. Gevinstkartet skal vise hvordan alle gevinstene er knyttet til hverandre og til prosjektets effektmål. I tillegg til identifiserte gevinster bør kartet inkludere avhengigheter som er utenfor prosjektets rammer eller kontroll, siden også utenforstående faktorer kan påvirke prosjektet.

3 Implementering av analytisk dimensjonering

3.1 Analytisk dimensjonering

Analytisk dimensjonering av vegoverbygning innebærer bruk av et mekanistisk-empirisk system for dimensjonering.³ Dette omfatter, som vist på figuren nedenfor, at man på basis av kjente forutsetninger og påkjenninger (inngangsdata: undergrunn og vegmaterialer, klima og trafikk) dimensjonerer en vegoverbygning (design). For denne vegoverbygningen beregnes spenning/tøyning i de ulike lagene (mekanistisk respons) som gjennom erfaringsbaserte modeller gir tilstandsutviklingen for vegdekke/vegoverbygning (empirisk, skade).



Dersom resultatene fra disse beregningene gir et tilfredsstillende resultat i forhold til de kravene som er satt, kan man gå videre med foreliggende løsning eller gjøre LCC/LCA-analyser for flere alternativer som grunnlag for valg av den optimale løsningen.

Hvis kravene ikke tilfredsstilles, må dimensjoneringen av vegoverbygningen endres, dvs. lagtykkelser og/eller materialer justeres.

³ I denne rapporten benyttes begrepet «analytisk dimensjoneringssystem» i betydningen mekanistisk-empirisk dimensjoneringssystem som inkluderer prognose for tilstandsutvikling, som beskrevet i kap. 3.1.

Følgende klassifisering av dimensjoneringssystemer benyttes her:

Empirisk:	Erfaringsbasert dimensjoneringssystem, utviklet på grunnlag av systematiske observasjoner og undersøkelser (empirisk dokumentasjon)
Mekanistisk	Dimensjoneringssystem basert på årsak-virkning-sammenhenger
Mekanistisk-empirisk	Dimensjoneringssystem basert på årsak-virkning-sammenhenger, men supplert med erfaringsbasert informasjon for forhold der det ikke eksisterer grunnlag for å utvikle rene årsak-virkning-sammenhenger

I tillegg kan dimensjoneringssystemer klassifiseres etter om de inkluderer prognoser for tilstandsutvikling eller ikke.

3.2 Dagens system for dimensjonering

Dagens system for dimensjonering (vegnormal N200 Vegbygging) er et empirisk tabellbasert system som ble utviklet på 1960-tallet og som bygger på bruk av indekismetoden. Det har blitt revidert i flere omganger og det er gjort tilpasninger til nye materialer, klima/frost og økte trafikkbelastninger. Systemet er enkelt å bruke, men har noen klare svakheter:

- Systemet er gammelt og dårlig tilpasset de belastninger som finnes på vegnettet i dag.
- Systemet er erfaringsbasert og lite fleksibelt.
- Systemet kan ikke beregne fremtidig tilstandsutvikling eller levetid for vegen.
- Systemet kan ikke brukes til vurdering og dokumentasjon av
 - hvor egnet nye eller alternative materialer er (f. eks. lokale steinmaterialer).
 - effekten av endret trafikkbelastning som økt aksellast/totalvekt og ringtrykk for tunge kjøretøy.
 - effekten av endret og mer utfordrende klima.
 - effekten av vedlikeholdstiltak.
- Systemet kan ikke dokumentere konsekvenser av avvik i forhold til normalen, planfase og fravikssøknader. Det samme gjelder avvik i anleggsfasen.

Dagens system blir dermed lite anvendbart med tanke på optimalisering av vegoverbygningskonstruksjoner ut fra lokale forhold, material- og ressurstillgang og økonomi innen det enkelte vegprosjekt. Systemet blir også lite anvendbart for utredning og analyse av generelle forhold og endringer innen materialer, trafikk og klima.

Men dagens system er enkelt å bruke og antas å gi resultater som sikrer en robust vegoverbygning under forutsetning av at utførelsen på veganlegget er riktig.

3.3 Endringer i rammebetingelser

Det er i dag et stort fokus på å bygge veger raskere, smartere og billigere. I tillegg er det behov for å utnytte eksisterende vegnett bedre, med tyngre kjøretøy og økt totalvekt. Samtidig legges det økende vekt på bærekraft, der vegbygging og vedlikehold skal vurderes også ut fra totale levetidskostnader og miljømessige og sosiale konsekvenser. Dette gir i sum også et behov for å dokumentere at man bygger kvalitet i henhold til de kravene som stilles, både i henhold til formelle krav og i henhold til politiske krav og forventninger.

De siste årene har det skjedd flere endringer i vegsektoren. Regionreformen og overføringen av vegadministrasjon for fylkesveger til fylkeskommunene med opphør av sams vegadministrasjon har medført at antall vegholdere og dermed byggherrer har økt vesentlig. Videre har det kommet til et antall nye vegholdere og byggherrer som Nye Veier AS og et antall OPS-selskaper. Dette innebærer at vegsektoren fragmenteres og personressursene (kompetansen) fordeles på flere aktører. Dette medfører en utfordring med hensyn til å bevare komplett kompetanse i fagmiljøer som er små og består av færre personer.

Kravene om utredning, analyse og dokumentasjon av samfunnsøkonomiske forhold og samfunnsøkonomisk nytte samt krav om økt nytte for vegprosjektene og andre tiltak i vegsektoren har økt kraftig. Dette fordrer bruk av samfunnsøkonomiske analyser som beslutningsgrunnlag. Trafikantnytte kommer mer og mer i fokus og kravene fra trafikantene og samfunnet generelt øker og vil sannsynligvis fortsette å øke i tiden som kommer.

Klima er endret og vil fortsette å endre seg. Dette innebærer at dimensjonering av veger må håndtere både nye klimakrav og større variasjoner i værforhold, både over tid og over geografi.

Byggherrenes entrepris- og kontraktstrategi er også i endring, med en klar overgang til større bruk av totalentrepriser. Dette innebærer at aktørenes roller, funksjoner og ansvar innen planlegging, bygging, drift og vedlikehold endrer seg. Dette gjelder både byggherrer, prosjekteiere og -ledere, rådgivende ingeniører og entreprenører, og i noe grad også andre leverandører (materialeleverandører, maskin- og utstyrsleverandører, systemleverandører).

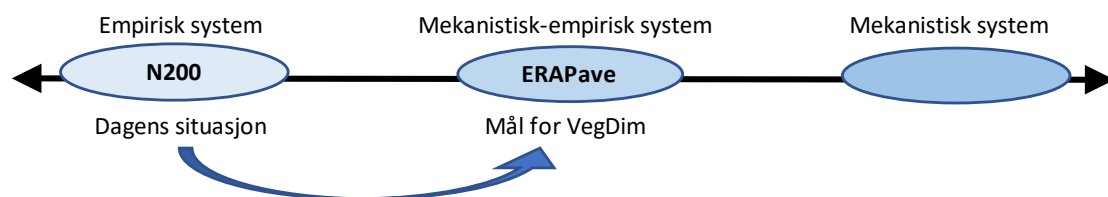
Videre utvikles det stadig nye materialer og ny teknologi som kan nyttes i vegsektoren. Dette krever systemer og virksomhet som kan nyttiggjøre seg dette på en kontrollert og fornuftig måte.

Virksomheten innen vegsektoren digitaliseres i stadig større grad. Et digitalt dimensjoneringssystem vil gjøre datautveksling med informasjonssystemer for inputdata, digitale prosjekteringssystemer, fagmodeller, bygningsinformasjonsmodeller (BIM) og andre digitale systemer lettere.

3.4 VegDim – motiver, mål og effekter

FoU-prosjektet VegDim omfatter utvikling og implementering av et moderne, fleksibelt og framtidsrettet system for dimensjonering av vegoverbygning.

Dette innebærer å bytte ut dagens empiriske system (N200) med et mekanistisk-empirisk system (ERAPave).



Motivene for å gjennomføre FoU-prosjektet VegDim er å:

- Oppnå riktig kvalitet og levetid for vegdekker og vegoverbygning og gjennom det lave årskostnader for vegdekkene (LCC), samtidig som man kan ha kontroll med miljømessige forhold knyttet til vegoverbygning gjennom hele livsløpet (LCA)
- Oppnå bedre ressursutnyttelse og optimalisering av vegoverbygningen
- Gi mulighet for å dokumentere konsekvenser av ulike standarder, kvalitet og valg knyttet til dimensjonering av vegoverbygning

- Øke kompetansen innen vegteknologi og analytisk dimensjonering av vegoverbygning i vegsektoren i Norge

Det konkrete resultatmålet for VegDim er å utvikle et nytt dimensjoneringsystem og analyseverktøy for vegoverbygning og implementere dette i 2023.

Systemet skal kunne brukes til dimensjonering av vegoverbygning i vegprosjekter og som analyseverktøy for å kunne:

- Dimensjonere vegoverbygning med tilhørende fastlegging av framtidig tilstandsutvikling og levetid for vegdekke og vegoverbygning
- Analysere effektene av endrede forutsetninger og påkjenninger for vegoverbygningen, dvs. undergrunn og vegmaterialer, trafikk og klima, samt effekten av vedlikeholds- og utbedringstiltak

Dette vil gjøre aktørene i vegsektoren i stand til å optimalisere bygging og vedlikehold av veger med hensyn til livsløpskostnader (LCC) og levetidsanalyser (LCA) gjennom:

- Konkret beregning av livsløpskostnader (LCC) og gjennomføring av levetidsanalyser (LCA)
- Bedre forståelse for nedbrytningen av vegoverbygningen og tilhørende tilstandsutvikling og levetid for vegdekke og vegoverbygning
- Bedre grunnlag for å vurdere effekten av bruk av alternative eller nye materialer (lokale steinmaterialer, syntetiske materialer, gjenbruks- og gjenvinningsmaterialer, mm)
- Bedre grunnlag for å vurdere effekten av økt trafikkbelastning (økt aksellast, totalvekt, ringtrykk, kjøremønstre/kanalisering, mm)
- Bedre grunnlag for å vurdere effekten av endret klima (nivå/mengde, maksimalverdier, variasjonsområder)
- Bedre grunnlag for riktige miljøvalg (materialvalg, konstruksjon og levetider er viktige input i levetidsanalyser (LCA))⁴
- Bedre grunnlag og dokumentasjon for valg av strategi og løsninger og bedre dokumentasjon av konsekvenser av alternative løsninger
- Bedre kvalitetssikring av resultatene fra dimensjonering, inkludert overholdelse av gjeldende regelverk og kunnskap
- Bedre grunnlag for langsiktig planlegging og budsjettering

Videre vil et digitalt dimensjoneringsystem lette utveksling av data med informasjonssystemer for inputdata, digitale prosjekteringsystemer, fagmodeller, bygningsinformasjonsmodeller (BIM) og andre digitale systemer.

⁴ For USA representerer dette en av de store miljøgevinstene ved at analytisk dimensjonering har åpnet for endring fra bruk av «full depth asphalt pavements» til bruk av tynnere asfaltlag og mer granulære materialer. I Norge er ikke dette potensialet like stort, fordi den rådende vegbyggingsmetoden har vært tynne asfalt lag og utstrakt bruk av granulære materialer i vegoverbygningen.

4 Analytisk dimensjonering USA

4.1 Innledning

I USA har 1993-versjonen av American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO) design guide vært hovedsystemet for dimensjonering av vegoverbygning. I 2008 publiserte AASHTO *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice (MEPDG)* og utga deretter den første versjonen av den tilknyttede programvaren AASHTOWare Pavement ME Design™ (formerly DARWin-ME) in 2011. MEPDG-systemet er basert på mekanistisk-empiriske prinsipper og innebar dermed en vesentlig dreining mht. dimensjoneringsmetode i forhold til de tidligere empirisk baserte AASHTO dimensjoneringsprosedyrene.

MEPDG nå innlemmet i en proprietær dimensjoneringsprogramvare kjent som AASHTOWare Pavement ME Design (PMED). Mange stater i USA har arbeidet med implementering av PMED gjennom de siste 10 årene.

Det er gjennomført en lang rekke evalueringer av denne overgangen til mekanistisk-empirisk dimensjonering i de enkelte statene i USA.⁵ Hovedspørsmålene i disse evalueringene er knyttet til forhold som lokal kalibrering av systemet, nødvendig datainnsamling og datatilrettelegging samt opplæring i bruk av systemet. Noen av evalueringene kommer også inn på nytten av å ta i bruk et mekanistisk-empirisk dimensjoneringsssystem. For å få oversikt over foreliggende nytte-evalueringer er det gjennomført litteraturstudium knyttet til overgangen til MEPDG i USA, jf. kap. 4.2 og 4.3.

4.2 NCHRP: A Synthesis of Highway Practice 2014

En spesiell solhøyde i implementeringsprosessen ble tatt i 2014 da National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) gjennomførte en undersøkelse vedrørende implementeringen av AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) tilhørende programvare blant statlige veimyndigheter i USA.⁶

Denne spørreundersøkelsen inneholdt også spørsmål om nytte og svarene var slik:

39. What benefits has your agency accrued due to implementation of the *MEPDG/AASHTOWare Pavement ME Design™* (select all that apply)?

Answer Options	Response Percent	Response Count
Has not yet been quantified	71.8	28
Improved characterization of local materials	15.4	6
Improved confidence in distress prediction	15.4	6
Cost savings	12.8	5
Improved characterization of existing pavement layers	12.8	5
Improved characterization of traffic	12.8	5
More economical designs	10.3	4
Improved reliability of design recommendations	5.1	2
Additional benefits ¹	23.1	9

¹Have not yet implemented, the research work accomplished to date on pavement performance data has allowed us to modify our existing AASHTO Design procedure and assign a structural layer coefficient of 0.54 for asphalt concrete layers, used as a tool to help validate our design tables, good information exchange with other agencies, in-house knowledge about pavements, not convinced implementation is worth the effort; however, working toward it at a slow pace to collect distress.

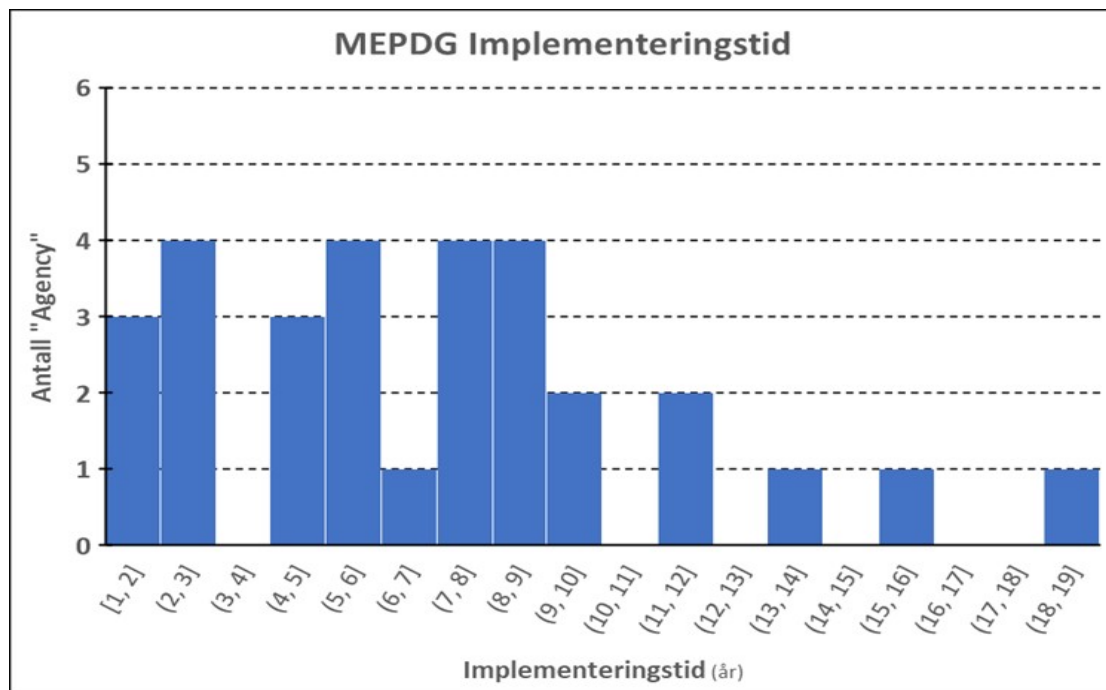
⁵ <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/dgit/clearinghouse/implementation.cfm>

⁶ Implementation of the AASHTO Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide and Software, A Synthesis of Highway Practice
NCHRP Synthesis 457, 2014

Det framgår av svarene at direkte «Cost savings» og «More economic designs» ikke er spesielt framtrepende, kun 4-5, dvs. ca. 10 %, av respondentene angir positive effekter på disse områdene.

Det ble også stilt spørsmål om konkret kvantifisering av nytte/kostnadsbesparelser. Det kom inn et svar, en stat (Indiana) mente å kunne dokumentere kostnadsreduksjoner (byggekostnader) knyttet til slankere dimensjoner på betongdekker som følge av ny dimensjoneringsmetode.⁷

Rapporten inneholder informasjon om hvor lang tid vegadministrasjonene hadde brukt på implementeringsfasen. De innkomne svarene viser en midlere implementeringstid på 7,5 år, med en fordeling som vist nedenfor.



Når det gjelder konkret kvantifisering av nytte/kostnadsbesparelser foreligger det noe ytterligere dokumentasjon. Fra Louisiana foreligger en undersøkelse basert på estimat av levetidskostnader.⁸ Undersøkelsen omfatter både fleksible (asfalt) og stive (betong) vegoverbygninger samt asfaltbelegninger på betongdekker. I gjennomsnitt er tykkelsen av vegoverbygning iht. Pavement ME 0,5 inch mindre enn tykkelse fra 1993 AASHTO-metoden, med variasjon mellom 3,0 inch og -1,0 inch. Tilsvarende resultater er også rapportert fra Minnesota, Washington State og Kansas, men disse undersøkelsene er ikke studert nærmere.

⁷ Tommy E. Nantung

Implementing the Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide for Cost Savings in Indiana
TR News Number 271, November–December 2010

⁸ Wu, Z., Xiao, D. X. and Zhang, Z.

Research Implementation of AASHTOWare Pavement ME Design in Louisiana
Journal of the Transportation Research Board, No. 2590, pp. 1-9, 2016

4.3 Litteraturstudie: Implementering MEPDG

4.3.1 Innledning

Formålet med denne litteraturstudien har vært å identifisere og kartlegge mulige gevinster ved å innføre et mekanistisk-empirisk dimensjoneringsystem. Litteraturstudien har blitt gjennomført via NTNUs litteraturbibliotek NTNU Oria, som ga tilgang til databaser som f.eks. Elsevier, Scopus og Science Direct.

I denne studien har fokuset vært på å undersøke hvordan overgangen fra et empirisk dimensjoneringsystem til et mekanistisk-empirisk dimensjoneringsystem har vært i USA. I 2002 ble dimensjoneringsystemet *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG) utviklet som en del av forskningsprogrammet NCHRP Project 1-37A. Tidligere har amerikanske stater har brukt AASHTO-1993 design guide som dimensjoneringsystem. Denne guiden er et empirisk dimensjoneringsystem som ble utviklet av *American Association of Highway and Transportation Officials* (AASHTO) på 1960-tallet og oppdatert senest i 1993.

Søkeordene som har blitt brukt i litteraturstudien, enten alene eller i kombinasjon med hverandre, er vist i listen nedenfor:

- Mechanistic empirical design
- MEPDG
- Pavement design
- Benefits
- Improvement
- Implementation
- Results
- Evaluation
- Flexible Pavement
- AASHTOWare

I Vedlegg 1 er det gitt en komplett beskrivelse av litteraturstudiet med resultater.

4.3.2 Oppsummering

Nedenfor er det gitt en liste med typiske trekk som et mekanistisk-empirisk dimensjoneringsystem bør ha, for at systemet skal gi nytte framfor et tradisjonelt empirisk dimensjoneringsystem:

- Det må være en åpning for lokal tilpasning av værdata, materialdata og trafikkdata
- Raskt å endre inngangsparametere for å kjøre sensitivitetsanalyser
- Mulighet for å evaluere utmatting og tretthet i overbygningen
- En kobling mot et normalprofil, slik at systemet kan ivareta kjørefeltbredder, antall kjørefelt, skulderdesign (bredde og materialtype) og drensssystem
- Åpning for å legge til lag, som f.eks. frostsikringslag og filterlag
- Evaluere overbygning på flere typer underlag, også betongtrau, bruer og konstruksjoner, i tillegg til fylling, skjæring etc.
- Brukergrensesnittet må være intuitivt, og det må være mulighet for å lagre underveis og legge inn kommentarer/merknader som forklarer valg

- Koblinger mot håndbøker bør skje direkte via dimensjoneringsprogrammet med linker til aktuelle sider, evt. pop-up vinduer, som viser hvor kravene i håndbøker er hentet fra

Det er i studien funnet relativt få referanser med kvantitative gevinstberegninger (økonomisk gevinst) for implementering av mekanistisk-empirisk dimensjonering, jf. kap. 4.2. Potensielle effekter og gevinstområder eller gevinster er som regel beskrevet verbalt. Nedenfor følger en oversikt over de momenter som nevnes i de studerte referansene.

Overgang fra tidligere empirisk basert til mekanistisk-empirisk basert dimensjoneringsprinsipp innebærer en rekke fordeler:

- muligheten til å evaluere et bredere spekter av trafikkarakterisering/kjøretøybelastning, materialegenskaper/parametere, strukturelle faktorer og klimatiske effekter/påvirkninger
- forbedret karakterisering av eksisterende lag i vegoverbygningen
- muligheten til å foreta lokal verifisering og kalibrering
- forbedret pålitelighet ved estimering av framtidig «pavement performance», eller endog selve muligheten til å forutsi «performance» (som ikke alltid finnes ved empiriske dimensjoneringsmetoder) – dette omfatter også forbedret pålitelighet i prognoser for skader og tilstandsutvikling
- forbedret pålitelighet for anbefalt dimensjonering av vegoverbygning (gjennom kontroll mot prognostisert tilstandsutvikling)
- muligheten for å implementere «reliability concepts». Dette kan forklares med at man kan legge inn ulike risikofaktorer og verdier for ulike parametere, slik at man kan legge mer realistiske og troverdige tall inn i beregningene med valgt sannsynlighet for et bestemt utfall. De tradisjonelle dimensjoneringsmetodene er basert på en deterministisk tilnærming, der alle inngangsparametere er definerte og låste verdier.

Implementering av mekanistisk-empirisk prinsipp i dimensjoneringen av vegoverbygninger kan imidlertid kreve en betydelig økning i tid og ressurser for å gjennomføre en dimensjonering med hensyn til

- kalibrering og verifisering mot lokale forhold
- nødvendige inngangsdata (trafikk, materialer, klima)
- kunnskap og erfaring hos personell som skal gjennomføre dimensjoneringen, spesielt mht. fastlegging av inngangsdata og vurdering av resultat, men også mht. eventuelt tilhørende analyser (sensitivitetsanalyser, usikkerhetsanalyser, risikovurderinger, mv)

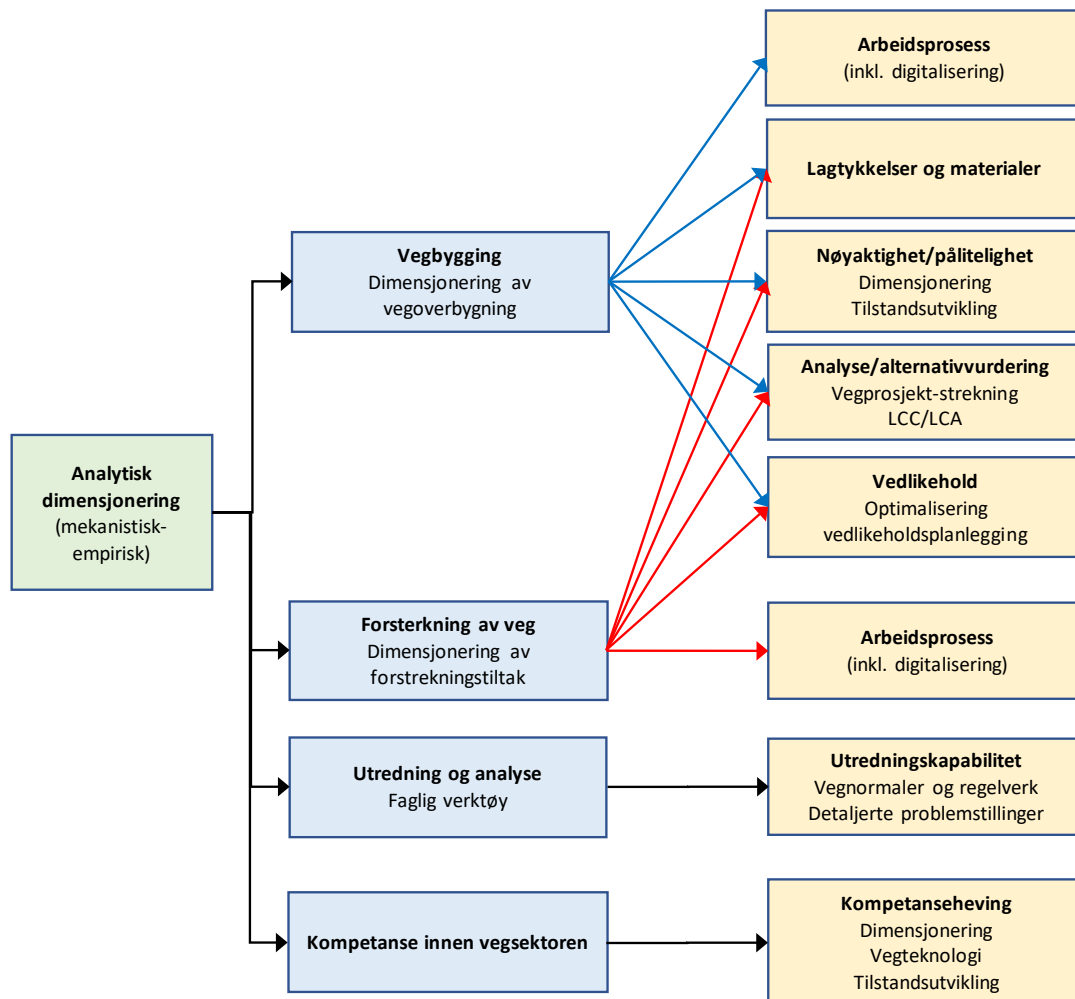
5 Gevinstbeskrivelse

5.1 Influensområder

Gevinster ved overgang til analytisk dimensjonering av vegoverbygning kan realiseres innen følgende områder:

- Vegbygging: Dimensjonering av vegoverbygning
- Forsterkning av veg: Dimensjonering av forsterkningstiltak
- Utredning og analyse: Faglig verktøy
- Kompetanse innen vegsektoren

En mer detaljert beskrivelse av influensområdene er gitt i figuren nedenfor.



Det bør også pekes på at denne gjennomgangen og vurderingen av nytteeffekter av implementering av analytisk dimensjonering gir viktig grunnlag og innspill som kan være til stor nytte i implementeringsarbeidet for ERAPave.

5.2 Potensielle gevinster

Nedenfor er potensielle gevinster ved overgang til analytisk dimensjonering av vegoverbygning innen de identifiserte influensområdene beskrevet og drøftet.

<p>1 Vegbygging: Dimensjonering av vegoverbygning</p>	<p>1.1 Arbeidsprosess</p>	<p>Arbeidsprosessen vil være mer ressurskrevende ved analytisk dimensjonering enn ved dagens N200-dimensjonering pga. større innsats knyttet til innsamling og tilrettelegging av mer detaljerte inngangsdata, samt mer omfattende arbeid med selve dimensjoneringen.</p> <p>Større ressursbruk på dimensjoneringen er i utgangspunktet ønskelig og nødvendig. Dimensjonering av vegoverbygning utføres i dag i mange tilfeller for enkelt uten å ta hensyn til lokale forhold og variasjoner i forholdene for vegprosjektet. Dette fordrer imidlertid en generell kompetanseheving hos utøverne.</p> <p>Det bør i denne sammenhengen også vurderes å iverksette strengere kompetansekrav og regler for dimensjonering av veg (jf. tilsvarende for bru, konstruksjon, mm).</p> <p>I tillegg vil tilgangen på analytisk dimensjonering åpne opp for nye elementer i dimensjoneringsprosessen for vegprosjekter, jf. pkt. 1.4. Arbeidsomfanget kan derfor i praksis øke fordi det blir mulig å gjøre analyser og vurderinger som man tidligere ikke kunne gjennomføre.</p> <p>Det bør vurderes om dagens N200-metode for dimensjonering skal beholdes som metode for enkel dimensjonering av vegoverbygning, eventuelt revidert iht. ny kunnskap som framkommer fra utviklingen av system for analytisk dimensjonering. Nytt dimensjoneringssystem vil sannsynligvis også inneholde en basis metode for enkel dimensjonering. Det kan bli ressurskrevende å vedlikeholde to systemer parallelt.</p>
		<p>Digitalisering av arbeidsprosessen gir automatisk en dokumentasjon av arbeidet (inngangsdata, forutsetninger, valg, resultat) som lagres og er tilgjengelig for kvalitetssikring og informasjon iht. krav i kvalitetssystemer, mm..</p> <p>Digitaliseringen av dimensjoneringsprosessen vil bidra til effektivisering av datautveksling både for input til og output fra dimensjoneringen.</p> <p>Digitaliseringen kan også bidra til sikrere data-overføring med reduksjon av mulighet for feil ved overføring av informasjon fra dimensjonering til bygging.</p> <p>Dette vil imidlertid kreve en tilrettelegging av dagens systemer for prosjektering av veg fordi disse i dag</p>

VegDim
Gevinstrealisering

		<p>bare kan motta inndata fra dimensjonering på en nær manuell måte.</p> <p>Digitalisering av dimensjoneringsprosessen vil i neste trinn medføre en effektivisering av overføring av informasjon til FDV-system for drifts- og vedlikeholdsfasen (som-bygd-data).</p> <p>Et digitalisert verktøy for analytisk dimensjonering vil være mer intuitivt å ta til seg for yngre personer som er vant til å arbeide med programsystemer, men ikke har god trening i avlesning av nomogrammer og tabeller.</p> <p>Effektiviseringen som digitalisering av dimensjoneringsprosessen kan innebære, er neppe i første omgang tilstrekkelig til å oppveie merforbruk av ressurser som overgang til analytisk dimensjonering medfører.</p>
	<p>1.2 Dimensjoneringsresultat: Lagtykkelse og materialer</p>	<p>Det foreligger ikke indikasjoner på at norske vegoverbygninger generelt er overdimensjonerte, det er derfor liten sannsynlighet for at et analytisk dimensjoneringssystem vil medføre besparelser når det gjelder lagtykkelser og materialforbruk ved bygging av veg.</p> <p>På den annen side kan dimensjoneringsresultatet mht. lagtykkelser og materialer være mer optimalt mht. levetidskostnadene, slik at det kan oppstå en besparelse på lang sikt mht. vedlikeholdskostnader, jf. pkt. 1.3.</p> <p>Størrelsen på denne type besparelser er analysert i etatsprogrammet Varige veger.</p> <p>Videre kan analytisk dimensjonering gi grunnlag for anvendelse av alternative materialer (lokale materialer, svakere materialer, materialer fra gjenbruk eller gjenvinning, mm), jf. pkt. 1.4. Analytisk dimensjonering vil også gi økte muligheter for tilpassing til andre stedlige forhold, som klima, trafikk og undergrunn. Ikke minst kan analytisk dimensjonering gi grunnlag for å få bedre grep om stedlig undergrunnen og variasjoner i grunnforholdene (forutsatt tilgang på kompetente vegteknologer og geoteknikere, og at eksisterende regelverk vedrørende grunnundersøkelser følges). Dette kan i sum innebære økonomiske, og miljømessige, besparelser ved bygging av veg, med bibehold av optimalitet mht. levetidskostnader. Dette vil da selvsagt bare gjelde forhold (parametere) som kan analyseres med det analytiske dimensjoneringssystemet.</p> <p>Analytisk dimensjonering med prognose for tilstandsutvikling kan gi grunnlag for innføring av mer funksjonsrelaterte krav og egenskapskrav i normaler og retningslinjer. Videre kan det gi grunnlag for å sette krav til tilstand og tilstandsvikling i stedet for detaljkrav til materialer, lagtykkelser og utførelse, spesielt ved nybygging av veg, men også ved forsterkningsarbeider.</p>

VegDim
Gevinstrealisering

		<p>Merknad: Det må tas noe forbehold knyttet til dette punktet. Det er mulig at indikasjonene på at norske vegoverbygninger ikke er overdimensjonerte, i alle fall delvis skyldes feil ved prosjektering eller utførelse.</p>
	<p>1.3 Dimensjoneringsresultat: Nøyaktighet Pålitelighet</p>	<p>All erfaring indikerer at det oppnås dimensjoneringsresultater med større nøyaktighet og pålitelighet ved analytisk dimensjonering, både på grunn av den styrte arbeidsprosessen og på grunn av muligheten for alternativanalyser og sensitivitetsanalyser. Hovedårsaken her ligger i koblingen som etableres mellom datagrunnlaget for dimensjoneringen og resulterende beregnet tilstandsutvikling som gir en mulighet for å evaluere og kvalitetssikre dimensjoneringen som dagens metode ikke gir.</p> <p>Analytisk dimensjonering gir en større mulighet til å kontrollere rimeligheten av dimensjoneringsresultatet. Dette innebærer større trygghet for resultatet, både for den enkelte vegplanlegger under dimensjoneringen og for vegprosjektet.</p> <p>Dette kan innebære besparelser på lengre sikt gjennom mer riktig dimensjonering av vegoverbygningen ift. de foreliggende belastningene</p>
	<p>1.4 Dimensjoneringsresultat: Analyseverktøy Alternativvurdering</p>	<p>Et system for analytisk dimensjonering med prognose for tilstandsutvikling vil også være et verktøy for analyse, utredning, alternativvurderinger og optimaliseringer.</p> <p>Dette vil åpne opp for analyser på flere nivåer⁹:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Overordnet analyse – vegprosjekt – LCC/LCA • Strekningsanalyse – optimalisering – LCC/LCA <p>System for analytisk dimensjonering kan nyttes for de ovennevnte formålene ved å analysere effekten av</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variasjoner i grunnforhold • Bruk av alternative materialer • Variasjoner/usikkerhet i trafikkdata • Variasjoner/usikkerheter i klimadata <p>Systemet kan også benyttes for å dokumentere konsekvensen av ulike valg i dimensjoneringen, og blir dermed blant annet et nyttig verktøy ved fraviksvurderinger (dokumentasjon, søknad og behandling).</p> <p>Statens vegvesen blir avkrevd svar og begrunnelser for forhold som det i dag ikke er lett å gi gode svar på. Analytisk dimensjonering med prognose for tilstandsutvikling vil være et verktøy som kan nyttes i slike</p>

⁹ Foreløpig antas at denne type analyser (LCC/LCA) må utføres som separate analyser basert på resultater fra dimensjoneringen. På sikt kan det tenkes at dette kan integreres i dimensjoneringsprosessen. Dette kan gi grunnlag for optimaliseringer under prosjektering/dimensjonering.

VegDim
Gevinstrealisering

		sammenhenger. Dette kan i tillegg til å gi konkrete svar for de aktuelle problemstillingene, bidra til å øke tilliten til Statens vegvesen som vegmyndighet og vegholder.
	1.5 Dimensjonerings- resultat: Vedlikehold	<p>Analytisk dimensjonering med prognose for tilstandsutvikling gir informasjon om estimert framtidig tilstandsutvikling for vegen. Dette gir mulighet for å sette fokus på viktige forhold og få grunnlag for styring mot riktig vegoverbygningskvalitet og ønsket levetid. Under dimensjoneringen nyttes dette for optimalisering mht. LCC/LCA. Videre gir det grunnlag for vurdering av framtidig vedlikeholdsbehov og langsiktig vedlikeholdsplanlegging.</p> <p>Dette kan innebære besparelser gjennom et godt planlagt, rettidig vedlikehold med riktig tilpassede vedlikeholdstiltak.</p>
2 Forsterkning av veg: Dimensjonering av forsterkningstiltak	2.1 Arbeidsprosess	<p>Analytisk dimensjonering gir en metode for mer grunnleggende og systematisk dimensjonering av forsterkningstiltak, hvor flere kunnskapselementer knyttet til vegteknologi og tilstandsutvikling kan inkluderes i det komplekse arbeidet som dimensjonering av forsterkningstiltak innebærer.</p> <p>Analytisk dimensjonering gir en bedre mulighet for å beskrive den eksisterende situasjonen på vegen, spesielt ved forbedret karakterisering av lag og materialer i vegen, men også for trafikk- og klimabelastning.</p> <p>Dette gir mulighet for å identifisere behovet for forsterkning bedre og dermed målrette forsterkningstiltakene bedre.</p> <p>Effektene av dette blir de samme som for vegbygging, jf. pkt. 1.1 – 1.5.</p>
3 Utredning og analyse: Faglig verktøy	3.1 Utrednings- kapabilitet	<p>Tilgang på et system for analytisk dimensjonering innebærer en stor økning av utredningskapabilitet for effekt av</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grunnforhold • Materialer og materialegenskaper • Trafikkbelastning • Klima <p>Dette bidrar til bedre beslutningsgrunnlag og forhåpentligvis bedre beslutninger.</p> <p>Dette kan omfatte overordnede utredninger for revidering av vegnormaler og retningslinjer eller endring av annet regelverk, men også analyser og utredninger på mer detaljert nivå for avgrensede problemstillinger (endret klima, endret trafikk-mønster).</p> <p>Analytisk dimensjonering kan også bidra til at behovet for laboratorie- og feltforsøk for verifisering av utredningshypoteser kan reduseres gjennom</p>

VegDim
Gevinstrealisering

		begrensning av nødvendig parameter variasjon i praktiske lab- og feltforsøk.
4 Kompetanse innen vegsektoren	4.1 Kompetanseheving	<p>Utvikling, implementering og bruk av analytisk dimensjonering vil øke forståelse, kunnskap og informasjon om vegteknologi, nedbrytning av vegoverbygning og tilstandsutvikling samt om sammenhengen med vegoverbygningens konstruksjon og belastninger.</p> <p>Dette vil være til nytte for alle aktørene i produksjonskjeden, vegholdere, byggherrer, rådgivere og entreprenører, og sikre optimale vegoverbygninger.</p> <p>I tillegg kan analytisk dimensjonering legge til rette for bedre og mer effektiv opplæring i vegteknologi og dimensjonering ved opplæringsinstitusjoner gjennom systembeskrivelser og brukerveiledninger, case-oppgaver, analysemulighet, mm.</p> <p>Økt kompetanse og ny arbeidsform kan bidra til økt interesse for vegteknologi og bedre rekrutteringen til fagområdet.</p>

I henhold til kategorisering fra kap. 2.3 kan gevinstene ved overgang til analytisk dimensjonering av vegoverbygning oppsummeres som vist nedenfor.

Effektiviseringsgevinster for staten (vegholder)

Overgang til analytisk dimensjonering gir ikke noen umiddelbar effektiviseringsgevinst for arbeidsprosessen dimensjonering innen vegbygging og forsterkning av veg. Sannsynligvis vil ressursbruken for disse arbeidsprosessene øke.

Det er heller ikke sannsynlig at overgangen gir direkte besparelser for oppbyggingen av vegoverbygningen (lagtykkelser og materialer).

Derimot gir analytisk dimensjonering grunnlag for optimalisering av vegoverbygningen og bruk av alternative materialer som kan gi besparelser på lang sikt med hensyn til levetidskostnader (LCC) og miljøforhold (LCA). Tilsvarende kan også gjelde for den økte kvalitetssikring, nøyaktighet og pålitelighet som analytisk dimensjonering gir både med hensyn til vegoverbygningens oppbygging, tilstandsutvikling og framtidig vedlikehold. Videre vil også digitaliseringen som muliggjøres gjennom analytisk dimensjonering, kunne virke effektiviserende for flere delprosesser i et veganleggs livsløp fra planlegging via bygging til driftsfase.

Videre gir system for analytisk dimensjonering økt utredningskapabilitet for overordnede utredninger for revidering av vegnormaler og retningslinjer eller endring av annet regelverk, men også for analyse og alternativvurdering i vegprosjekter

VegDim og ERAPave vil være et av verktøyene som vil bidra til å realisere nytten som er beskrevet i FoU-prosjektet Varige veger.

Kvalitetsgevinster for staten (vegholder)

Overgang til analytisk dimensjonering vil føre til bedre kvalitetssikring og større nøyaktighet og pålitelighet for resultatene fra dimensjoneringen. Dette vil gi kvalitets-

gevinster for mange sider av vegbygging og forsterkning. System for analytisk dimensjonering kan bidra til raskere avklaring på mange problemstillinger.

Arbeidsformen kan også bidra til større tillit til arbeidsfeltet generelt og resultatene fra dimensjoneringen med tilhørende tilstandsutvikling spesielt. Dette vil også bidra til økt tillit til Statens vegvesen som vegmyndighet og vegholder.

Digitaliseringen av arbeidsprosessen som analytisk dimensjonering kan innebære, kan medføre bedre kvalitetssikring i arbeidet og større sikkerhet ved overføring av informasjon fra dimensjonering til utførelse av bygging og forsterkning og representerer dermed en kvalitetsgevinst.

Gevinster for øvrige aktører

System for analytisk dimensjonering kan tas i bruk av andre aktører enn Statens vegvesen; alle vegholdere og vegutbyggere (fylkeskommuner, kommuner, private), entreprenører og rådgivende ingeniører. Disse vil da kunne oppnå tilsvarende effektiviseringsgevinster og kvalitetsgevinster som staten.

Undervisningsinstitusjoner vil få forbedret undervisningsmateriell med sterk kobling til flere fagfelt innen veg. FoU-institusjoner vil få analyse- og utredningsmuligheter for generelle problemstillinger innen flere fagområder innen vegsektoren, både tekniske, miljømessige og samfunnmessige.

Bidrag til virksomhetens mål

Statens vegvesens samfunnsoppdrag er å utvikle gode veisystemer som alle kan bruke, der transporten ikke fører til alvorlig skade på mennesker eller miljø. Mål i kommende Nasjonal transportplan 2022-2033 er et effektivt, miljøvennlig og trygt transportsystem i 2050. Hovedmålet er brutt opp i fem konkrete mål med sterkt fokus på brukerne.



Analytisk dimensjonering kan bidra til at Statens vegvesen når flere av disse målene, både det overordnede målet «Et effektivt, miljøvennlig og trygt transportsystem i 2050» og delmålene, spesielt:

- Mer for pengene

Analytisk dimensjonering gir grunnlag for bedre utnyttelse av alle typer tilgjengelige ressurser med formål å få ut mer nytte med hensyn til de oppsatte målene, både på prosjektnivå, vegnettsnivå og samfunnsnivå.

- Effektiv bruk av ny teknologi

Analytisk dimensjonering med sin digitale tilnærming og arbeidsmetode gir grunnlag for å utnytte ny teknologi for innsamling av datagrunnlaget for dimensjoneringen, for overføring fra plan/prosjekteringsfase til byggefase og fra byggefase til driftsfase, inkludert oppfølging av tilstand.

- Bidra til oppfyllelse av Norges klima- og miljømål

Analytisk dimensjonering med prognose for tilstandsutvikling gir et komplett grunnlag for gjennomføring av LCA-analyser med miljøregnskap etc. for byggeprosess og driftsfase, og dermed mulighet for optimalisering med hensyn til klima- og miljømål.

5.3 Berørte aktører

5.3.1 Interessenter

Følgende interessenter kan få tilsvarende nytte av utvikling, implementering og bruk av analytisk dimensjoneringsystem som Statens vegvesen:

- Andre vegholdere og vegutbyggere (statlige etater, Avinor, Nye Veier AS, fylkeskommuner, kommuner, private)
 - Dimensjonering av vegoverbygning i vegprosjekter (vegutbygging, vegutbedring)
 - Dimensjonering av forsterkningsarbeider
 - Analyse- og utredningsmuligheter i vegprosjekter og for generelle problemstillinger
 - Kompetanseheving – vegteknologi, dimensjonering, tilstand og tilstandsutvikling
- Entreprenører
 - Dimensjonering av vegoverbygning/forsterkningsarbeider for egen optimalisering i utførelsesentrepriser og for prosjektering i totalentrepriser
 - Analyse og utredningsmulighet i vegprosjekter for optimalisering, endringsforslag, fravikssøknad, mm
 - Kompetanseheving – vegteknologi, dimensjonering, tilstand og tilstandsutvikling
- Rådgivende ingeniører
 - Dimensjonering av vegoverbygning/forsterkningsarbeider for byggherre i utførelsesentrepriser og for entreprenør i totalentrepriser
 - Analyse og utredningsmulighet i vegprosjekter for optimalisering, endringsforslag, fravikssøknad, mm
 - Kompetanseheving – vegteknologi, dimensjonering, tilstand og tilstandsutvikling
- Undervisningsinstitusjoner
 - Forbedret undervisningsmaterieell med sterk kobling til flere fagfelt innen veg (vegteknologi, nedbrytningsparametere og -mekanismer, tilstand og tilstandsutvikling, mm)
- FoU-institusjoner
 - Analyse- og utredningsmuligheter for generelle problemstillinger innen flere fagområder innen vegsektoren, både tekniske, miljømessige og samfunnsmessige

5.3.2 Brukergrupper

Det kan, som beskrevet tidligere, tenkes flere anvendelsesområder for et analytisk dimensjoneringsystem, og dermed også flere typer brukere (brukergrupper).

Før det analytiske dimensjoneringsystemet er endelig utformet, kan det i alle fall beskrives tre mulige brukergrupper, basert på de ulike anvendelsesområdene for systemet:

Vegplanleggere og prosjekterende	<p>Anvendelsesområde:</p> <ul style="list-style-type: none">• Vegplanlegging og -prosjektering <p>Kompetansekrav:</p> <p>Må ha basis kompetanse i vegteknologi samt kunnskap om bruken av dimensjoneringsystemet (systemoppbygging, begrensninger, databehov, forutsetninger for dimensjoneringen, resultatoutput, analyse og variasjonsmuligheter).</p> <p>Det vil være en relativt høy terskel for å ta i bruk analytisk dimensjonering, både med hensyn til databehov og praktisk bruk av systemet. Men god opplæring og trening/praksis vil gjøre det mulig å komme riktig i gang.</p> <p>Riktig bruk av et analytisk dimensjoneringsystem vil kreve høyere kompetanse enn dagens normale praksis med bruk av N200. Gode databaser for datainput kan øke brukermuligheten for mindre avanserte brukere og effektivisere bruken for de mer avanserte brukerne.</p> <p>Faren for ukritisk kopiering og gjenbruk av data er til stede.</p> <p>Systemets mulighet for dokumentasjon av datainput, beregningspremisser og resultatoutput gjør systemet egnet for sidemannskontroll og kvalitetssikring.</p>
Vegteknologer	<p>Anvendelsesområde:</p> <ul style="list-style-type: none">• Spesialist/ekspertbistand for vegprosjekter, forsterkningsarbeider, o.l.• Analyse/utredning av spesielle problemstillinger <p>Kompetansekrav:</p> <p>God kompetanse innen vegteknologi og dimensjonering av vegoverbygning samt inngående kunnskap om dimensjoneringsystemet (systemoppbygging, begrensninger, databehov, forutsetninger for dimensjoneringen, resultatoutput, analyse og variasjonsmuligheter).</p>
Ekspert	<p>Anvendelsesområde:</p> <ul style="list-style-type: none">• Spesialist/ekspertbistand for vegprosjekter, forsterkningsarbeider, o.l.

VegDim
Gevinstrealisering

	<ul style="list-style-type: none">• Analyse/utredning av spesielle problemstillinger• Videreutvikling av dimensjonering og dimensjoneringsystem <p>Kompetansekrav:</p> <p>Dybdekompetanse innen vegteknologi og dimensjonering av vegoverbygning samt dybdekunnskap om dimensjoneringsystemet i sin helhet, inkludert algoritmer og de underliggende teoretiske modellene.</p>
--	---

6 Gevinstberegning

Det synes ikke å foreligge noen umiddelbar mulighet for å kvantifisere gevinstene eller nytteeffektene knyttet til implementering av et analytisk dimensjoneringsystem.

For det første vil med stor sannsynlighet selve arbeidsprosessen med dimensjonering innebære økt ressursbruk og større kostnader.

Videre kan de identifiserte nytteeffektene slå begge veier, både medføre mer kostnad eller innebære en besparelse, avhengig av forutsetningene i de enkelte tilfellet. For eksempel kan bruk av lokale materialer, som muliggjøres gjennom analyse og dokumentasjon i et analytisk dimensjoneringsystem, medføre reduserte byggekostnader og lavere CO₂-utslipp i byggefase, men gi høyere levetidskostnader og samlet CO₂-utslipp. I slike tilfeller er det mulig å gjøre gevinstberegninger på konkrete prosjekter, men ikke på generell basis.

I tillegg byr det på en utfordring å sammenligne resultater fra en empirisk basert dimensjoneringsmetode og en mekanistisk-empirisk metode fordi input-parametere og forutsetninger vil være forskjellige (både innhold, omfang og format), og i noen tilfeller fraværende i en metode og nødvendig i den andre metoden.

Dessuten er det ikke klart hvordan den endelige versjonen av ERAPave vil framstå, med hensyn til input, innhold og resultater. Konkrete forsøk på gevinstberegninger bør avvendes til man ser konturene av systemet klarere. Det kan framstå som noe spekulativt å gjøre slike beregninger for «analytisk dimensjoneringsystem» på generell basis.

Til sist kommer de vanlige utfordringene ved nytteberegning som består i at nytteeffekten fra et enkelt tiltak (her analytisk dimensjonering) ikke kan isoleres fra nytteeffektene av andre tiltak og forhold som påvirker resultatet samlet (kompetansenivå, eksisterende krav, utførelseskvalitet, formelle føringer for arbeidet, krav om kostnadsreduksjon, mm).

Disse konklusjonene bekreftes av studiet av implementeringen av MEPDG i USA hvor det heller ikke er funnet utsagnskraftige kvantitative gevinstberegninger.

Det kan imidlertid gjøres anslag på størrelsen av de sentrale influensområdene for bruk av et analytisk dimensjoneringsystem. De siste årene er det bygd om lag 30-40 km firefeltsveg pr år i Norge, og tilsvarende 60 km tofeltsveg på riksvegnettet. På fylkesvegnettet ligger mengde bygget tofeltsveg på anslagsvis 125 km pr år.

Informasjon om forsterkning av veg er betydelig mer usikker, men grove anslag tyder på at det årlig forsterkes 200 km veg på riksvegnettet og 400 km veg på fylkesvegnettet. Hvordan disse tallene vil endre seg framover som følge av ny organisering av vegsektoren, er uvisst.

Disse influensområdene, målsatt som km veg pr år, kan omregnes til kostnader pr år ved å nytte grove nøkkeltall for kostnad pr meter veg. Men fordi det, som nevnt over, ikke synes mulig å knytte noen metode for gevinstberegning til virksomheten, gir en slik omregning heller ikke noen farbar veg for å kunne kvantifisere gevinstene.

Dermed kan nytten av implementering av analytisk dimensjonering i Statens vegvesen og i Norge pr i dag ikke beskrives på annen måte enn ved de kvalitative gevinstene og nytteeffektene som er beskrevet i kap. 5. Det kan være relativt langt fram til man kan kvantifisere gevinstene fra implementering av analytisk dimensjonering i Norge på generell basis. Men når ERAPave foreligger i rimelig ferdig versjon ved slutten av prosjektperioden for VegDim, vil det være mulig og fornuftig å gjennomføre

nytteberegninger for konkrete vegprosjekt-case. Disse gevinstberegningene kan gjennomføres med metoder basert på videreutvikling og tilpassing av metoden benyttet ved nytteberegning i FoU-prosjektet Varige veger¹⁰. Metoden kan også tilpasses etter erfaringer med tilsvarende nytteberegninger fra andre land, f. eks. Sør-Afrika¹¹.

¹⁰ Varige veger: Nytteberegning
ViaNova Plan og Trafikk AS
2015-08-14

¹¹ Direct economic benefits arising from technology development work on G1 base pavements
F. Joste, E Sadzik and L. Sampson
Proceedings of the 24th Southern African Transport Conference (SATC 2005)
11 – 13 July 2005. Pretoria, South Africa

Vedlegg A Litteraturstudie: Implementering MEPDG

A1 LITTERATURSTUDIUM

A1.1 Sammendrag

Formålet med denne litteraturstudien har vært å identifisere og kartlegge mulige gevinster ved å innføre et mekanistisk-empirisk dimensjoneringsystem. Litteraturstudien har blitt gjennomført via NTNUs litteraturbibliotek NTNU Oria, som ga tilgang til databaser som f.eks. Elsevier, Scopus og Science Direct.

I denne studien har fokuset vært på å undersøke hvordan overgangen fra et analytisk-empirisk dimensjoneringsystem til et mekanistisk-empirisk dimensjoneringsystem har vært i USA. I 2002 ble dimensjoneringsystemet *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG) utviklet som en del av forskningsprogrammet NCHRP Project 1-37A. Tidligere har amerikanske stater har brukt AASHTO-1993 design guide som dimensjoneringsystem. Denne guiden er et empirisk dimensjoneringsystem som ble utviklet av *American Association of Highway and Transportation Officials* (AASHTO) på 1960-tallet og oppdatert senest i 1993.

Søkeordene som har blitt bruk i litteraturstudien, enten alene eller i kombinasjon med hverandre, er vist i listen nedenfor:

- Mechanistic empirical design
- MEPDG
- Pavement design
- Benefits
- Improvement
- Implementation
- Results
- Evaluation
- Flexible Pavement
- AASHTOWare

Første fase i søket var å sortere vekk artikler som ikke var aktuelle. Deretter ble referanselister i artikler som ble ansett som relevante gjennomgått for å supplere søket med flere artikler. Dette var en iterativ prosess for å luke ut artikler som ikke inneholdt relevant informasjon, samt tilføre ytterligere artikler som hadde interessant innhold. Resultatet var en liste på ca. 20 artikler, og disse artiklene er gjengitt med korte sammendrag i dette notatet.

A1.2 Funn

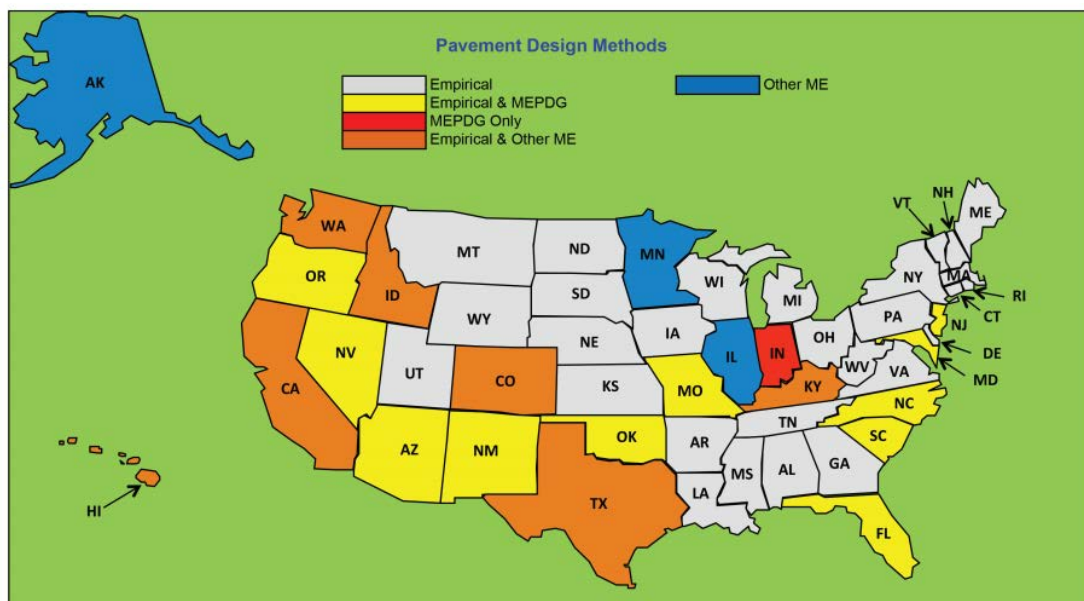
Overordnet legges det stor vekt på at en overgang fra et empirisk dimensjoneringsystem til et mekanistisk-empirisk dimensjoneringsystem gir store fordeler for vegdimensjonering. Det sies lite om økonomisk gevinst, men det sies mye om fordelene med at man ivaretar flere parametere i det nye systemet, som for eksempel trafikkarakterisering, klimatiske effekter, strukturelle faktorer og materialparametere, i tillegg til muligheten for å implementere såkalte *reliability concepts*. Sistnevnte kan forklares med at man kan legge inn ulike risikofaktorer og verdier for ulike parametere, slik at man kan legge mer realistiske og troverdige tall

inn i beregningene med valgt sannsynlighet for et bestemt utfall. De tradisjonelle dimensjoneringsmetodene er basert på en deterministisk tilnærming, der alle inngangsparametere er definerte og låste verdier.

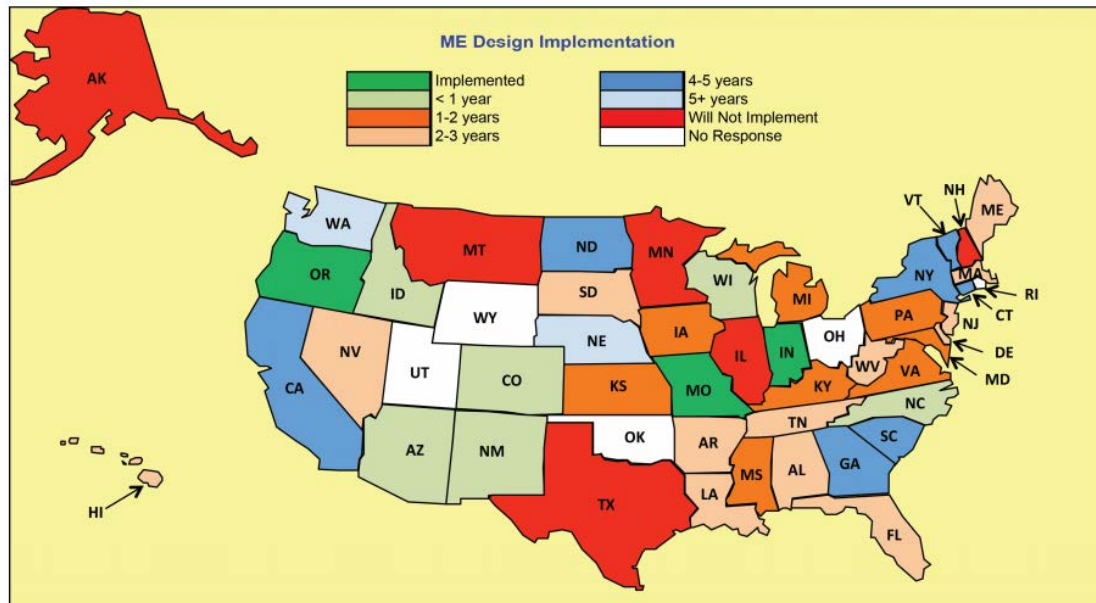
I artikkelen *Local Calibration of the MEPDG Distress and Performance Models for Ontario's Flexible Roads. Overview, Impacts, and Reflection* (2018) fortelles det om hva slags moduler og elementer som er implementert i MEPDG:

MEPDG establishes a direct tie between pavement distresses and various design inputs through mechanistic analyses and empirical models. Multilayer elastic theory, cumulative fatigue damage theory, and fracture mechanics-based crack propagation theory are used to provide the theoretical bases for the prediction of various distresses including permanent deformation (or rutting), fatigue cracking, thermal cracking, and reflection cracking. Sophisticated material (e.g., dynamic modulus and creep compliance), climate and traffic models are included to improve the correlation between distresses and structural responses calculated by the mechanistic modules.

Flere av artiklene er publisert mellom 2012-2018, som er tidsperioden da mange amerikanske stater begynte å innføre MEPDG. NCAT Research Synopsis 14-04 har laget to figurer som viser hvilke dimensjoneringsystemer som benyttes i de ulike statene, og om hvor lang tid de vil innføre MEPDG, hvis dette gjøres. Tallene må ses i sammenheng med publisering i 2014 og tilhørende referanse fra 2013. Se Figur 1 og Figur 2 nedenfor.



Figur 1: Dimensjoneringsystemer som benyttes i de ulike amerikanske delstatene (NCAT Research Synopsis 14-04)



Figur 2: Estimert tid til implementering av MEPDG i de ulike amerikanske delstatene (NCAT Research Synopsis 14-04)

Det er et gjentakende *statement* at lokal kalibrering er avgjørende for at MEPDG skal virke slik det er tenkt. Kalibrering tar mye tid og det koster penger, men det er nødvendig for å få reelle verdier. Det skal visstnok ligge en del lokasjoner inne i MEPDG for hver stat allerede, men det er langt ifra nok kalibreringspunkter, siden topologien i flere stater varierer så mye at man ikke kan bruke de nærmeste lokasjonene som har kalibreringspunkter i modellen.

I en artikkel fra 2016 skrives det om implementering av MEPDG i Louisiana og økonomiske gevinster (Research Implementation of AASHTOWare Pavement ME Design in Louisiana, 2016):

The economic benefit of Pavement ME was assessed in this study on the basis of life-cycle cost analyses on the example projects shown in Figure 4, including new flexible, new rigid, and asphalt overlay pavements. Assuming that the cost of HMA for both new flexible pavement and overlays is \$80 per ton and new PCC is \$75 per cubic yard, the cost savings of each project can be calculated. For projects with a thinner thickness according to Pavement ME, the cost savings were realized at the initial construction. If the Pavement ME design recommended a thicker layer because the 1993 design could fail earlier than the design life, additional maintenance cost was added to the initial construction cost. It was assumed that the maintenance action for flexible pavements and asphalt overlays consisted of 2-in. milling and a 2-in. overlay.

The life-cycle cost analysis (LCCA) results are listed in Table 4. It shows that the total cost saving would be \$6.9 million over the total 176 mi of pavements evaluated. On average, each lane mile could save \$11,065 in present value over a pavement's lifetime. Compared with the AASHTO 1993 design, Table 4 further indicates an average reduction in life-cycle costs of 7.4% if full implementation of Pavement ME occurs. Assuming that a 1,000-mi pavement will be designed with the Pavement ME in Louisiana, the annual cost saving in present value could be approximately \$2 million per year, on the basis of the LCCA results of this study.

Når det gjelder sammenligning av empirisk og mekanistisk-empirisk design prosedyre, så nevnes det at dette kan være en utfordring. Det er avgjørende at de ulike dimensjoneringsssystemene sammenlignes på likt grunnlag (Comparison of Pavement Design Using AASHTO 1993 and NCHRP Mechanistic-Empirical Pavement Design Guides, 2011):

It is extremely important that the inputs into the procedures are somewhat equivalent. Common inputs for AC and PCC pavements are design traffic, serviceability, reliability, design period, and subgrade properties. Specific design inputs for AC pavements are structural number based on layer coefficients and drainage coefficient, and then selection of layer thicknesses based on structural number.

The most direct approach for comparing the 1993 AASHTO and NCHRP Project 1-37A methodologies would be to use each to design pavement sections for the same project scenario. However, several complications make this direct approach difficult. First, the number and types of input parameters are significantly different for the two design methodologies, making it difficult to specify equivalent design scenarios for each. Second, even within a single methodology there are usually multiple designs that satisfy the performance requirements, for example, 6 in. of asphalt over 12 in. of crushed granular base has approximately the same skid number (and therefore the same predicted performance) as 4 in. of asphalt over 17 in. of base in the 1993 AASHTO procedure (for $a_1 = 0.44$, $a_2 = 0.18$, and $m_2 = 1.0$). And, last, the required pavement section depends on the design criteria specified in each methodology.

A1.3 Oppsummering

Nedenfor er en liste med fordeler som et mekanistisk-empirisk dimensjoneringsssystem bør ha for at dette skal overgå et tradisjonelt analytisk-empirisk dimensjoneringsssystem:

- Det må være en åpning for lokal tilpasning av værdata, materialdata og trafikkdata
- Raskt å endre inngangsparametere for å kjøre sensitivitetsanalyser
- Mulighet for å evaluere utmatting og tretthet i overbygningen
- En kobling mot et normalprofil, slik at systemet kan ivareta kjørefeltbredder, antall kjørefelt, skulderdesign (bredde og materialtype) og dressystem
- Åpning for å legge til lag, som f.eks. frostsikringslag og filterlag
- Evaluere overbygning på flere typer underlag, også betongtrau, bruer og konstruksjoner, i tillegg til fylling, skjæring etc.
- Brukergrensesnittet må være intuitivt, og det må være mulighet for å lagre underveis og legge inn kommentarer/merknader som forklarer valg
- Koblinger mot håndbøker bør skje direkte via dimensjoneringsprogrammet med linker til aktuelle sider, evt. pop-up vinduer, som viser hvor kravene i håndbøker er hentet fra

A2 UTDRAG FRA LITTERATURSTUDIUM

AASHTO memorandum 2004

M-E pavement design guide was developed in the research program NCHRP Project 1-37A. Input data for traffic, climate, materials, and proposed structure and to estimate damage accumulation over service life. The M-E pavement design guide provides significant potential benefits over the 1993 AASHTO guide in achieving cost—effective pavement designs and rehabilitation strategies. The user-oriented computational software implements an integrated analysis approach for prediction pavement conditions over time that accounts for the interaction of traffic, climate, and pavement structure; allows consideration of special loadings with multiple tires or axels; and provides a means for evaluating design variability and reliability. The M-E pavement design guide will allow pavement designers to make better-informed decisions and take cost-effective advantages of new materials and features. The software can also serve as a forensic tool for analyzing the condition of existing pavements and pinpointing deficiencies in past design.

It must be understood that because the software is a tool for pavement *analysis* it does not provide structural thickness as an output. Nor, in its present form, does the M-E pavement design guide lend itself directly to use as a tool for routine, day-to-day production work. The flexible design component does not specifically address recycled materials in HMA or special mix design types.

Comparative Analysis between Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications and Updated Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Climate Database in the State of Tennessee 2019

Most state departments of transportation (DOTs) in the U.S. use the AASHTO-1993 design guide for pavement design. This guide was developed by the American Association of Highway and Transportation Officials (AASHTO) in the 1960s and last updated in 1993. The AASHTO-1993 guideline is an empirical design method based on the AASHO road test conducted from 1958 to 1960. This design method does not sufficiently address the climatic factors that affect pavement performance, among other things. For instance, it uses drainage factors to account for moisture effect in the design process.

The new pavement design method, Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG), now Pavement ME Design (PMED), was introduced to provide a deeper understanding of pavement performance and considers more factors that affect pavement performance. PMED is a mechanistic-empirical pavement design method developed to replace the AASHTO-1993 pavement design method and to overcome many limitations in the AASHTO-1993 design guide, such as heavier traffic loadings, new rehabilitation methods, new axle types and configurations, different hot asphalt concrete mixes, and different climate conditions.

The PMED philosophy provides pavement engineers many advantages: it offers variety of material and design options, reduces early failure of pavements, increases pavement longevity, addresses new and rehabilitating design methods, offers a hierarchal level of design inputs that allows more flexibility, evaluates base erosion under rigid pavements, and considers aging and seasonal effects when estimating pavement performance. Looking at climate particularly, PMED comprehensively

addresses this issue by incorporating the enhanced integrated climate model (EICM) in the pavement design software. EICM is a one-dimensional coupled heat and moisture flow program that simulates changes in the behavior and characteristics of pavement and subgrade materials in conjunction with climate conditions over several years of operation. The EICM is a major advancement in pavement design and analysis because it can predict the following parameters through the pavement profile:

- Temperature, resilient modulus adjustment factors
- Pore water pressure and water content
- Frost and thaw depths
- Frost heave and drainage performance

Comparison of Pavement Design Using AASHTO 1993 and NCHRP Mechanistic-Empirical Pavement Design Guides 2011

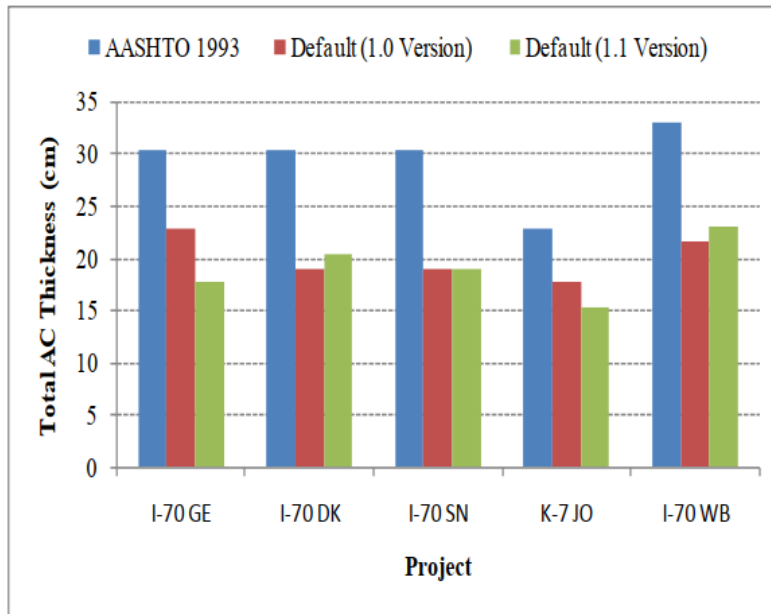
The objective of this study was to compare the pavement designs obtained using the 1993 AASHTO and the new MEPDG methods for typical Portland Cement Concrete (PCC) and Asphalt Concrete (AC) pavements in Kansas. Five in-service Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP) projects were reanalyzed as equivalent JPCP and AC projects using both approaches at the same reliability level. The results show that the new MEPDG analysis yielded thinner AC sections for all projects than those obtained from the 1993 AASHTO design guide analysis.

The AASHO road test was conducted under a given climatic setting with a specific set of pavement materials and subgrade soils under vehicle operating and loading characteristics that were typical at that time, but not representative of current conditions. Due to these limitations, a design guide based as fully as possible on the mechanistic principles was developed under the National Cooperative Highway Research Program (NCHRP 2004).

In order to compare two procedures, it is extremely important that the inputs into the procedures are somewhat equivalent. Common inputs for AC and PCC pavements are design traffic, serviceability, reliability, design period, and subgrade properties. Specific design inputs for AC pavements are structural number based on layer coefficients and drainage coefficient, and then selection of layer thicknesses based on structural number. Specific design inputs for PCC pavements are effective modulus of concrete, concrete modulus of rupture, load transfer coefficient, and drainage coefficient.

The results obtained using AASHTO 93 and two different versions of MEPDG based on default criteria are shown in Figure 1(a). Both versions of the software gave thinner AC when compared to the AASHTO 1993/DARwin thickness.

For AC sections, the MEPDG procedure resulted in much thinner sections when compared to the sections obtained following the 1993 AASHTO design guide methodology.



(a) AC Sections

Comparisons of Flexible Pavement Designs: AASHTO Empirical Versus NCHRP Project 1-37A Mechanistic-Empirical

Flexible pavement designs and performance predictions derived from the empirical 1993 AASHTO pavement design methodology and the mechanistic-empirical NCHRP Project 1-37A approach are compared for a range of locations within the United States, each with its own climate, subgrade, and other material properties and local design preferences. Particular emphasis is devoted to the influence of traffic and reliability levels. The results suggest that relative to the NCHRP Project 1-37A predicted performance, the 1993 AASHTO guide overestimates performance (i.e., underestimates distress) for pavements in warm locations and at high traffic levels. Trends of pavement performance with reliability level were similar for both methodologies. The results suggest that the default design criteria incorporated in the NCHRP Project 1-37A software are broadly consistent with what would be observed historically from pavements designed with the 1993 AASHTO guide.

The most direct approach for comparing the 1993 AASHTO and NCHRP Project 1-37A methodologies would be to use each to design pavement sections for the same project scenario. However, several complications make this direct approach difficult. First, the number and types of input parameters are significantly different for the two design methodologies, making it difficult to specify equivalent design scenarios for each. Second, even within a single methodology there are usually multiple designs that satisfy the performance requirements, for example, 6 in. of asphalt over 12 in. of crushed granular base has approximately the same skid number (and therefore the same predicted performance) as 4 in. of asphalt over 17 in. of base in the 1993 AASHTO procedure (for $a_1 = 0.44$, $a_2 = 0.18$, and $m_2 = 1.0$). And, last, the required pavement section depends on the design criteria specified in each methodology. Although there is some general agreement regarding appropriate performance criteria for the 1993 AASHTO guide (e.g., initial PSI $\cong 4.2$, terminal PSI $\cong 2.5$, Δ PSI $\cong 1.7$ for flexible pavements), consensus is still evolving regarding design limits for rutting,

bottom-up and top-down fatigue cracking, thermal cracking, and roughness. These and other reasons make direct comparisons of the pavement section designs difficult.

Different pavement sections designed for the same serviceability loss in the empirical 1993 AASHTO methodology showed considerable variations in rutting and fatigue cracking as predicted with the NCHRP Project 1-37A mechanistic–empirical approach. Locations with higher average temperatures exhibited worse performance (as predicted by the NCHRP Project 1-37A approach) than those in locations with mild to low average temperatures. This finding suggests that at least relative to the NCHRP Project 1-37A predicted performance, the 1993 AASHTO guide overestimates performance (i.e., underestimates distress) for pavements in warm locations. AASHTO designs for the same serviceability loss at different levels of traffic did not show uniform levels of rutting and fatigue cracking as predicted by the NCHRP Project 1-37A methodology; predicted rutting and cracking consistently increased with traffic level at all locations.

The results also showed that the variability in the predicted performance increased with increasing traffic level. These results suggest that the 1993 AASHTO guide may overestimate performance (i.e., underestimate distress) at traffic levels significantly beyond those applied in the original AASHO Road Test. Structures designed using the 1993 AASHTO guide at different reliability levels for conditions of low traffic and mild to low average temperatures exhibited similar rutting and fatigue cracking as predicted by the NCHRP Project 1-37A methodology. The predicted rutting and fatigue cracking values (after adjustment for the appropriate reliability level) were consistent with the default design criteria incorporated in the NCHRP Project 1-37A software. It should be remembered that there is an implicit assumption throughout this paper that the NCHRP Project 1-37A mechanistic–empirical results are more “correct” than those from the empirical 1993 AASHTO procedure. It is fair to say that the jury is still out on this point. However, it is also fair to say that the mechanistic–empirical methodology in NCHRP Project 1-37A is (or at least has the potential to be) more robust than the AASHTO empirical approach and that the NCHRP Project 1-37A methodology has been calibrated against a wider range of pavement conditions than has the AASHTO guide. Comparisons such as those described in this paper are just one of many avenues for evaluating the ultimate suitability of the NCHRP Project 1-37A approach for pavement design.

Development of Mechanistic-Empirical Design Procedure for Fully Permeable Pavement Under Heavy Traffic 2012

Structural design methods have been empirical in nature, with little or no long-term monitoring data to support the empiricism. Purely empirical design methods require good, comprehensive long-term performance data for all of the expected design conditions, and the high cost of learning from inevitable failures has limited the speed of technology development for fully permeable pavements. The need for a large factorial set of performance data that considers different materials, climates, subgrades, and structural cross sections makes it difficult for purely empirical design methods to consider all the design variable permutations.

The mechanistic–empirical approach used in this project to develop new fully permeable pavement designs will increase the speed of development. The mechanistic–empirical design development process consists of determining the

relevant material properties in the laboratory, using them in inexpensive and risk-free computer models to evaluate pavement performance, then empirically validating and calibrating the failure mechanisms and performance of the most promising designs through accelerated pavement testing and field test sections.

Efficient reliability-based approach for mechanistic-empirical asphalt pavement design 2014

The implementation of the mechanistic principles has significant benefit to the pavement design. For instance, the mechanistic-empirical pavement design guideline (MEPDG), which is one of the most thorough design methodologies, includes the characterization of traffic, climate effect, structural and material factors and the option to implement the reliability concepts. The conventional pavement design is based on deterministic approaches in which all input parameters are considered as fixed inputs. For example, if the predicted fatigue life is larger than the allowable load repetitions, the design is considered to be a safe design. However, it is well known that the input factors in MEPDG, such as the traffic loads, climate issue, structural and material properties, layer thickness of asphalt, have uncertainty in pavement design and construction. The errors in those empirical components in MEPDG also cause addition uncertainty in the design outcome, e.g., the fatigue life. It is, therefore, advisable to consider those uncertainties in MEPDG through modeling those input parameters as random variables and perform the reliability-based design.

Implementation of AASHTOWare Pavement ME Design Software for Asphalt Pavements in Kansas 2019

Many studies have been conducted to compare AC pavement designs using the PMED software and the AASHTO 1993 guide. In most cases, both designs were applied to a pavement structure in a project. However, such direct comparison could be misleading as the input parameters and design criteria required by two design methods are quite different (9). Carvalho et al. used an alternative approach to evaluate whether both methods consistently predict performances for a range of design conditions. Several pavement sections were first designed using the AASHTO 1993 design guide and then reanalyzed with the PMED software for the same design period (10). In this study, a side-by-side comparison of the AASHTO 1993 guide and PMED software was made. Ten AC pavement sections were used in this analysis. The 1993 AASHTO-designed sections were reanalyzed using the PMED software to predict pavement performance. Based on the 10-year cumulative 18-kip equivalent single axle loads (ESALs), the study sections were divided into four traffic categories: high (.6 million ESALs), high-medium (3–6 million ESALs), low-medium (1–3 million) and low (\1 million ESALs).

This study presents the local calibration process of the performance models of AASHTOWare PMED software and subsequent implementation in design. The thicknesses obtained following the 1993 AASHTO design guide and PMED for ten prospective projects in Kansas were compared. Finally, an automated calibration technique has been proposed to help highway agencies in periodic calibration of the performance models. Based on this study, the following conclusions can be made:

- Thermal cracking model in the PMED software could not be successfully calibrated in this study because of extreme variation in thermal cracking in the selected projects.
- For flexible pavement sections with low to low-medium traffic, locally calibrated PMED thicknesses were within 1 inch of what AASHTO 1993 design guide predicted. For sections with high traffic level, 1993 AASHTO design guide yielded higher pavement thickness than the AASHTO Ware ME.
- The automated calibration technique developed in this study could be extremely beneficial to help highway agencies to do periodic in-house calibration of the performance models.
- One of the major challenges in local calibration and implementation of the PMED software is affording the extensive time and effort needed. The agency needs to invest resources for traffic data update, refinement of collected measured data, and laboratory testing for consistent results.

Implementation of mechanistic-empirical pavement analysis in the State of Qatar 2014

The main focus of this study was to introduce the use of mechanistic-empirical analysis method in evaluating the performance of perpetual pavements in the State of Qatar. The analysis considered various conventional and perpetual pavement designs with different levels of traffic loading. The analysis results evidenced the effectiveness in replacing unmodified bitumen Pen 60-70 with modified bitumen PG 76-10 for pavements in Qatar and countries in the region with similar climatic conditions. In particular, longitudinal cracking was significantly less in pavements with modified bitumen PG 76-10. Analysis of the conventional designs showed that an increase in the subgrade strength improved pavement performance whereby the magnitudes of alligator cracking, total rut depth and IRI all decreased after 20 years. In contrast, longitudinal cracking increased, indicating that the increase in subgrade strength in certain structures should be approached with caution. This issue can be overcome by using modified bitumen to increase resistance to fatigue cracking. The results showed that the use of perpetual designs makes pavements much more accommodating than conventional designs for increase in traffic loading without causing excessive damage. In addition, LCCA of conventional and perpetual designs demonstrated that the initial cost of perpetual pavements is about 30% more than conventional pavements. However, perpetual pavements are still more economical because they require much less maintenance or rehabilitation work, especially when the AC base layer is 300 mm thick. LCC conclusions matched the performance analysis results from M-E PDG and supported the importance of implementing perpetual designs in Qatar.

Load and Resistance Factors and Design Parameter Offsets for Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide 2012

Pavement design in the United States has evolved from empirical methods to mechanistic–empirical methods over the past 60 years. Mechanistic–empirical design improves on empirical design procedures by relating observed distresses to stresses and strains developed in the pavement structure. The Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) is one of the most thorough implementations of

this design and will be used increasingly in the United States to design highway pavements (1). The MEPDG will provide pavement engineers powerful predictive tools, allowing for more cost-effective and reliable pavement designs. Reliability is a critical issue in pavement design and management, because early pavement failures result in costly rehabilitation and reconstruction costs incurred sooner than anticipated. For this reason, ensuring pavement reliability has been an important objective in MEPDG development.

The MEPDG has incorporated powerful predictive models calibrated on the basis of an extensive set of long-term pavement performance data and quantified the predictive uncertainty in pavement performance arising from lack of fit of the calibrated models. Even though the work done on reliability in the MEPDG represents outstanding technical achievements in ensuring reliability in mechanistic–empirical pavement design, the reliability analysis procedure implemented in the MEPDG does not systematically account for all types of uncertainty in pavement design. A comprehensive approach is needed because when all sources of uncertainty are not accounted for, reliability will be overestimated. Uncertainty in model prediction leads to uncertainty in the design life of the pavement; variability in design inputs adds a second source of uncertainty. As a result, the MEPDG overstates the pavement reliability. Methods of reliability analysis based on only input variability also are subject to the same overstatement of reliability because they do not take into account a lack of fit of distress prediction equations. Understanding the significance of the impact of uncertainty due to these various sources is critical to verification of the MEPDG predictive distress models and reliable pavement design.

The goal of this paper is to assist pavement designers in ensuring, with a high level of reliability, that the MEPDG-predicted value of distress at a specified level of model confidence does not exceed a threshold value. Because the majority of engineers designing flexible pavements do not have advanced training in structural reliability theory, probabilistic methods of engineering analysis, or both, a simplified approach to design is necessary. This paper develops methods for calculating load and resistance factors and parameter offsets to use in routine design. These factors and offsets will allow designers to make reasonably conservative assumptions for the design input values.

Local Calibration of the MEPDG Distress and Performance Models for Ontario's Flexible Roads. Overview, Impacts, and Reflection 2018

The AASHTO Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) represents a paradigm shift in pavement design method. Unlike its predecessors, which were largely empirically based, the MEPDG establishes a direct tie between pavement distresses and various design inputs through mechanistic analyses and empirical models. Multilayer elastic theory, cumulative fatigue damage theory, and fracture mechanics-based crack propagation theory are used to provide the theoretical bases for the prediction of various distresses including permanent deformation (or rutting), fatigue cracking, thermal cracking, and reflection cracking. Sophisticated material (e.g., dynamic modulus and creep compliance), climate and traffic models are included to improve the correlation between distresses and structural responses calculated by the mechanistic modules. Due to the complexity of the distresses (e.g., nonlinear viscoelastoplasticity in permanent deformation, and singularity and randomness in cracking), empirical transfer models are developed to translate the

mechanistic calculation into the prediction of field observable pavement distresses. Finally, the overall pavement performance is evaluated by the international roughness index (IRI), a composite performance indicator that is an empirical function of rut depth, fatigue cracking, thermal cracking, and other site factors. Adequate design of pavement structure requires the abovementioned distresses and IRI to be within their respective target threshold values with a given reliability.

The hierarchical levels of accuracy of input data represent an important innovation to the MEPDG. From the perspective of reliability design, however, this apparent strength has also added sophisticated difficulty in the treatment of uncertainties and reliability in a coherent manner. Note that, unlike the AASHTO 1993 design method, the MEPDG does not consider the variability of design inputs in evaluating the overall standard deviation of the distresses or damages.

The MEPDG is a very complicated pavement analysis system. The several mechanistic models adopted by the MEPDG are at different stages of maturity. For example, the rutting and bottom-up fatigue cracking models are widely accepted in the community, whereas the top-down fatigue cracking and reflection cracking models are still subject to further development and verification. On the other hand, new materials and new construction and rehabilitation technologies are emerging every year, if not every day. All of these will drive local calibration as a dynamic process. This is both good and bad news. It is good because it provides a common platform for continuous improvements in pavement design theory and practice. However, it can be also unwelcome for transportation agencies as it requires continual investment in local calibration. Without a proper strategic research plan, local calibration can turn into an endless investment trap. With shrinking research funding for applied research, almost all transportation agencies in North America are facing difficult choices of prioritizing research investment. The MEPDG does represent a paradigm shift in design method indeed, but does it also invoke a paradigm shift in pavement research? Shall all future pavement research be based on the MEPDG platform? Within the platform, should focus be on the enhancement of mechanistic modules or on the refinement of local calibration? These issues are worth serious consideration.

Performance and Cost-Effectiveness of Sustainable Technologies in Flexible Pavements Using the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide 2012

A commonly accepted definition of sustainable pavement is a pavement that is safe, efficient, and environmentally friendly while meeting the needs of the present generation without affecting the ability of future generations to meet their needs.

This study evaluated whether the MEPDG software is sensitive to variation in the mechanistic properties of asphalt mixtures containing selected sustainable technologies and whether the MEPDG is an appropriate tool to use for designing sustainable pavements. The objective of this study was to evaluate the effects of selected sustainable technologies on the predicted performance from the MEPDG and to assess the LCCs of pavement structures constructed with these sustainable alternatives.

The following conclusions are drawn on the basis of the results of this study:

- The performance predicted by the MEPDG software was improved because of the use of sustainable mixtures. The HMA mixture containing 40% RAP resulted in the most favorable predicted performance.
- The predictions of the MEPDG for rutting and cracking performances were different from those predicted from physical laboratory tests. These discrepancies are most likely caused by the rutting and cracking models in the MEPDG that use E^* (dynamic complex modulus) as the main factor in describing the mix mechanistic properties.
- The use of RAP resulted in the greatest reduction in production costs. The mixture containing 40% RAP had the lowest LCC, followed by the sulfur mixture, the foamed WMA mixture, and then the crumb rubber modified mixture.

Performance Evaluations of Unbound Aggregate Permanent Deformation Models for Various Aggregate Physical Properties 2015

This paper evaluates the prediction abilities of unbound aggregate base or subbase permanent deformation models in use or proposed for use in the Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) approach.

The current MEPDG rutting model and its enhanced version proposed in 2013 by Hashem and Zapata tended to overpredict permanent deformations and have a low sensitivity to changes in aggregate physical properties.

The rut depths predicted by the current MEPDG model have been found in the field to have low sensitivity to the properties of the subgrade and unbound base or subbase layers. Furthermore, the model does not always reflect the extent of the anticipated effect (18). There is a need to evaluate its sensitivity and general applicability to varying aggregate physical properties and to identify and develop enhancements to ensure that the influence of subgrade and unbound layers on the rutting performance of flexible pavements can be appropriately accounted for.

The current MEPDG rutting model with so-called universal constants determined from national calibration not only tends to overestimate laboratory-measured permanent strain accumulations for unbound aggregates over a wide range of material physical properties but also exhibits a very low sensitivity to changes in material properties that are known to greatly influence permanent deformation behavior. Contrary to expectations, the enhancement recommended by Hashem and Zapata did not result in improved permanent strain prediction (15). The existing rutting damage model in MEPDG and Pavement ME Design cannot adequately distinguish between rutting performances of unbound aggregate materials ranked by material quality and physical properties. Therefore, the anticipated better performances of high-quality crushed aggregates in unbound pavement layers may not be justified through the Pavement ME Design approach.

It was found that the permanent strains predicted by the original Tseng–Lytton model (ASTM STP 1016-EB) and the empirical El-Badawy model (19) were in better agreement with laboratory-measured values compared with the predictions obtained by the current MEPDG model with so-called universal model constants and its enhanced version proposed by Hashem and Zapata (15). When applied to a much

wider range of aggregate physical properties, the original Tseng–Lytton model and the El-Badawy model (19), however, performed unsatisfactorily, indicating that they could not be universally applicable to all unbound aggregate materials described in this study with the use of a single set of constants. Requiring moisture content as the only material physical property input parameter, the current MEPDG rutting model with universal constants not only overpredicted permanent strains but also showed low sensitivity to changes in material properties.

Performance of Different Climate Data Sources in Mechanistic-Empirical Pavement Distress Analyses 2017

The AASHTOWare Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) model (ARA 2014) evaluates pavement performance based on mechanistically determined critical stresses, strains, temperatures, and moisture levels that are used, in turn, as inputs to empirical prediction models of specific pavement distresses such as rutting, fatigue cracking, thermal cracking, and roughness for flexible pavements. Similarly, the empirical models predict cracking, faulting, and roughness for rigid pavements. Accurate characterization of the traffic, climate, and material input parameters are therefore critical in the application of empirical pavement distress analyses. The principal objective of the development of the MEPDG was to provide the highway community with a state-of-practice methodology for the design of new and rehabilitated pavement structures based on mechanical-empirical principles.

Accuracy and reliability of the input data are critical in the MEPDG approach for predicting the pavement performance. Climatic factors affect the performance of all layers in the pavement system. They have a direct influence on thermal cracking and rutting failure performance as well as frost heaving and thaw weakening of the pavement systems.

Preparation for Implementation of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide in Michigan 2013

While the AASHTO 1993 Design Guide requires limited data information for the structural design of pavements, the MEPDG pavement analysis and design procedure requires a large number of design inputs related to layer materials, environment, and traffic. Ideally all the input variables should be studied together to determine their impacts on the predicted pavement performance (2). However, performing such an analysis including all these input variables is not efficient. Therefore, in this study the inputs specific to rehabilitation options in the MEPDG were considered along with some important inputs related to the new pavement layer.

Reliability-Based Mechanistic-Empirical Flexible Pavement Design 2014

One goal of the TxME system is to improve the reliability analysis for structural pavement design. It is well known that pavement design and analysis involves many uncertainties and variations from the specified design parameters. To address this issue, a reliability concept is often incorporated into the pavement design and analysis process. Several methods can be adopted to perform reliability-based design, ranging from closed-form approaches to simulation-based approaches. However, some

methods may be more suitable than others given the complexities of the design procedure.

The AASHTO 1993 pavement design guide (5) defines reliability in terms of the number of predicted ESALs to terminal serviceability being less than the number of ESALs actually applied to the pavement. AASHTO 1993 pavement design guide incorporates reliability through simply adjusting estimated traffic (cumulative ESALs) in the design period. The standard deviation of traffic is preset or assumed (e.g., typical values of S_0 used are 0.40 to 0.50 for flexible pavements). With that method, higher reliability indicates a larger adjusting factor for estimated traffic and consequently results in thicker pavement.

Differing from adjusting the estimated traffic in the FPS21 and the AASHTO 1993 guide, the MEPDG design reliability is achieved through adjusting pavement distress. All predicted distresses are normally distributed and the standard deviation of each predicted distress (e.g., fatigue cracking) can be replaced by measured data, because the MEPDG itself is deterministic and cannot predict the standard deviation of each distress.

Research Implementation of AASHTOWare Pavement ME Design in Louisiana 2016

Since the release of the first research version of Mechanistic–Empirical Pavement Design Guide software, the State of Louisiana has conducted a series of studies in preparation for adopting the new AASHTO design guide. The practical and economic benefits of the full implementation of the Pavement ME for Louisiana pavement design were demonstrated by a direct comparison with the current 1993 AASHTO design method through a group of thickness design examples and life-cycle cost analyses.

To validate the applicability of the developed Louisiana Pavement ME Design Guideline, the calibrated Pavement ME was used to redesign the selected projects (Figure 2). All input values and design criteria as listed in the developed Design Guideline were followed. If any of the predicted performance (cracking, rutting, faulting, and IRI) was higher than the design criteria, the thickness of the design layer (top AC layer for flexible pavement, concrete slab for rigid pavement, and AC overlay for rehabilitation) was increased at 0.5-in. intervals until the predicted performance met all criteria. If the predicted performance were lower than the design criteria, the thickness was reduced at 0.5-in. intervals until the predicted performance failed any of the criteria.

Figure 4 presents a direct thickness comparison between the 1993 AASHTO method and the calibrated Pavement ME method for the three pavement types considered in this study. Note that the 1993 design thicknesses were as-built thickness values designed by Louisiana DOTD pavement engineers using the DARWin 3.1 software. The design ESAL is also included in Figure 4 to give an idea of the level of traffic loading. It should be clarified that ESAL is not a design input for Pavement ME. Figure 4a shows that flexible pavement with a rubblized PCC base could carry the most traffic with a thinner asphalt layer, probably because of the strong structure of RPCC and the base layers underneath it. In addition, full-depth flexible pavements (with an AC base) seem to require thicker asphalt layer than those with an unbound

granular base. Figure 4a also indicates that a stone interlayer could reduce the requirement of HMA thickness. When Project 015-08-0028 is compared with Project 005-06-0033, it can be seen that they have similar traffic loads but that the interlayer structure requires HMA that is 2 in. thinner than that required by the UB structure.

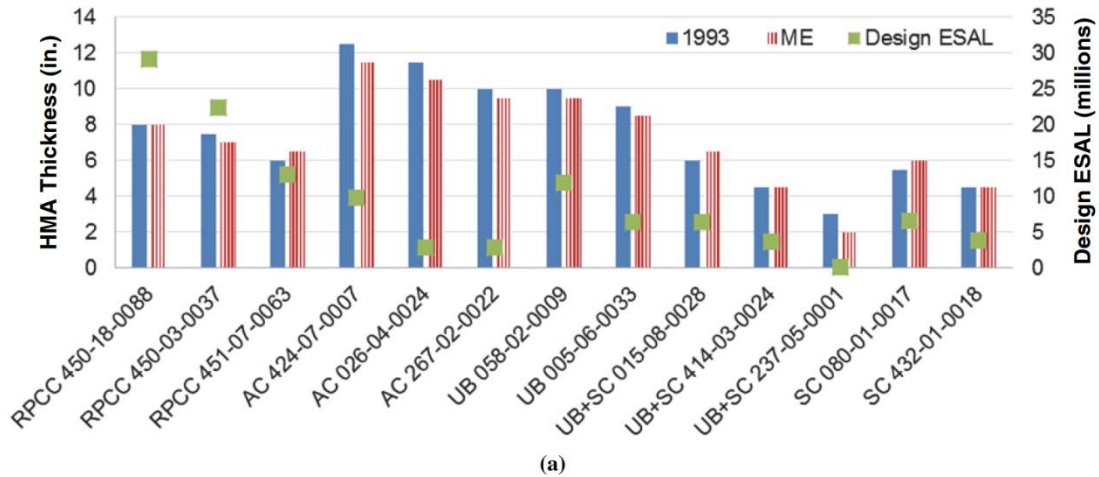


FIGURE 4 Recommended thickness from 1993 design and Pavement ME design: (a) flexible pavements. *(continued)*

Overall, the two methods generated comparable thickness design results, with a difference of between -1.0 in. and 3.0 in. Although neither method led to constant thicker or thinner pavement than the counterpart, on average the thickness from Pavement ME is 0.5 in. less than that from the 1993 AASHTO method. This is especially true for thick pavements greater than 10 in. Similar findings were also reported by other studies in Minnesota (18), Washington State (19), and Kansas (20).

The Pavement ME program directly considers all of the design factors that cannot be readily incorporated into the 1993 AASHTO method, including the dynamic modulus of HMA, aging of HMA, coefficient of thermal expansion of PCC, joint spacing, traffic spectrum, environmental and seasonal effects, and specific distress design (e.g., load-induced fatigue cracking and rutting, joint faulting and transverse cracking, IRI, and so on). The potential benefits of using those unique design features in Pavement ME can be truly significant. Major practical benefits of using Pavement ME are as follows:

- With the material inputs directly tied to the material’s strength or mechanical and thermal properties, engineers now can design a cost-effective pavement structure by directly incorporating the properties of new paving materials into a Pavement ME design and starting to evaluate the corresponding pavement performance for different design alternatives.
- Pavement ME provides a uniform basis for the design of flexible, rigid, and rehabilitated pavements. Load spectra are not converted to ESALs but directly applied to calculate the critical stress and strain in a pavement structure. This eliminates the debate in the 1993 AASHTO method, in which the load equivalent factors are different for flexible and rigid pavement designs, which results in a heavier design ESAL for a rigid pavement design.

- The direct application of axle load spectra in Pavement ME offers plenty of freedom to model different traffic conditions and future changes such as increased loads, high tire pressures, and multiple axles. The recently completed Comprehensive Truck Size and Weight Limits Study by the U.S. Department of Transportation also used the Pavement ME program to evaluate possible effects on pavement life. The lifetime distress prediction can be integrated with pavement preservation and pavement management.
- With the climatic model in Pavement ME, pavement engineers can readily tie location variations and seasonal effects into a pavement design with more freedom, such as considering the aging of paving materials, in situ moisture, and soil-suction effect on resilient modulus.

The economic benefit of Pavement ME was assessed in this study on the basis of life-cycle cost analyses on the example projects shown in Figure 4, including new flexible, new rigid, and asphalt overlay pavements. Assuming that the cost of HMA for both new flexible pavement and overlays is \$80 per ton and new PCC is \$75 per cubic yard, the cost savings of each project can be calculated. For projects with a thinner thickness according to Pavement ME, the cost savings were realized at the initial construction. If the Pavement ME design recommended a thicker layer because the 1993 design could fail earlier than the design life, additional maintenance cost was added to the initial construction cost. It was assumed that the maintenance action for flexible pavements and asphalt overlays consisted of 2-in. milling and a 2-in. overlay.

The life-cycle cost analysis (LCCA) results are listed in Table 4. It shows that the total cost saving would be \$6.9 million over the total 176 mi of pavements evaluated. On average, each lane mile could save \$11,065 in present value over a pavement's lifetime. Compared with the AASHTO 1993 design, Table 4 further indicates an average reduction in life-cycle costs of 7.4% if full implementation of Pavement ME occurs. Assuming that a 1,000-mi pavement will be designed with the Pavement ME in Louisiana, the annual cost saving in present value could be approximately \$2 million per year, on the basis of the LCCA results of this study.

A total of 162 projects were selected to complete a comprehensive evaluation of major pavement types in Louisiana. Distress models were calibrated by using validated PMS data. A Louisiana Pavement ME Design Guideline was developed to facilitate the adoption of Pavement ME in day-to-day design practice. The following conclusions can be drawn from this study:

- Pavement ME in general underpredicted fatigue cracking but overpredicted rutting for flexible pavements in Louisiana. For rigid pavements, Pavement ME significantly overpredicted slab cracking but underpredicted joint faulting. For rehabilitation pavements, Pavement ME generally overpredicted reflective cracking.
- After local calibration, all models were improved to better match with field-measured performance. The developed calibration coefficients are included in the developed Louisiana Pavement ME Design Guideline.
- A comparison of thicknesses designed from the current AASHTO 1993 design and Pavement ME generally indicated that the two design methods were

comparable, and the Pavement ME design tended to require on average 0.5-in. thinner thickness than the AASHTO 1993 design.

- Thickness design examples and a LCCA cost-benefit analysis proved the benefits of full implementation of Pavement ME design in Louisiana. In summary, Pavement ME has many advantages and benefits
- compared with the AASHTO 1993 design method. On the basis of the research results of this study, it is recommended that the Louisiana DOTD start using the developed Louisiana Pavement ME Design
- Guideline to design all pavements in Louisiana while at the same time keeping the current design for comparison purposes. One year of in-house practice could offer transition time to (a) give engineers experience with the new procedure, (b) identify and troubleshoot any design issues, and (c) revise and modify any default design inputs or calibration coefficients to advance the implementation process.

Sensitivity Analysis of Flexible Pavement Sections Using Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide 2015

Traffic load plays an important role in pavement design and this response is influenced by factors such as stress state, temperature, moisture, time, and loading rate. The mechanistic component is the theoretical determination of pavement responses such as stresses, strains and deflections due to loading and environmental influences. The first difference reported is that AASHTO 1993 guide underestimates amount of pavement distress. Secondly, AASHTO 1993 includes reliability as one of the input parameters, which has the highest impact on the final pavement structural design. After many researches it has been concluded that the NCHRP project 1-37A method is more robust than the AASHTO 1993 empirical approach. One of the main reasons for this difference could be that as the NCHRP project 1-37A methodologies has been calibrated against a wider range of pavement conditions than AASHTO 1993 guide.

Shuvo Islam - Implementation of AASHTOWare Pavement ME Design Software for pavement rehabilitation 2019

The 1993 version of the American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO) design guide has been the primary pavement design tool for state highway agencies in the United States. Recently, a mechanistic-empirical pavement design guide (MEPDG) has been developed for new and rehabilitated pavement design. MEPDG approaches have been incorporated into a proprietary design software (commonly known as AASHTOWare Pavement ME Design (PMED)) for new and rehabilitated pavement designs. The main objective of this study was to facilitate implementation of this AASHTOWare PMED software for rehabilitated pavement design in Kansas. As part of this implementation, transfer functions for translating mechanistic pavement responses into visible distresses embedded in the AASHTOWare PMED software were locally calibrated to eliminate bias and reduce standard error for rehabilitated pavements in Kansas. Rehabilitated pavement sections included asphalt concrete (AC) over AC and jointed plain concrete pavement (JPCP) sections. The PMED software requires periodic recalibration of the prediction models to account for improvements in the PMED models, changes in

agency design and construction strategies, and updates in performance data. Thus, another objective of this study was to develop an automated technique for calibrating the AASHTOWare PMED software performance models. The automated methodology developed in this study incorporated robust sampling techniques to verify calibrated PMED models. In addition, a statistical equivalence testing approach was incorporated to ensure PMED-predicted performance results tend to agree with the in-situ data.

Updating the Pavement Design Catalog for the Washington State Department of Transportation 2010

For most state highway agencies, the current primary pavement design tool is the 1993 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993 AASHTO Guide) (1). While use of this empirical method has been successful, it has several generally acknowledged shortcomings, including being based on a limited number of pavement sections at one location, one climate, and one set of materials and truck loads from the late 1950s.

There have been a number of updates for the MEPDG since the first release, but the built-in models can be reasonable for predicting some types of pavement distress. While it is acknowledged that the MEPDG will continue to be updated and improved, its complexity will, for the foreseeable future, require well-trained personnel to use and interpret its results properly. Therefore, at least initially, WSDOT plans to use the MEPDG as an analysis tool and train a limited number of users. WSDOT also acknowledges that many pavement design decisions may not require individual analysis through use of the MEPDG and could thus be better addressed by using a design catalog approach.

A3 REFERANSER

- AASHTO Memorandum, 2004. *Distribution of the Recommended Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, NCHRP Project 1-37 A*
- Ziedan, A. et al, 2019. *Comparative Analysis between Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications and Updated Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Climate Database in the State of Tennessee*. Transportation Research Record, Vol. 2673(6), pp. 279-287
- Gedafa, D. et al, 2011. *Comparison of Pavement Design Using AASHTO 1993 and NCHRP Mechanistic-Empirical Pavement Design Guides*. T & DI Congress 2011, ASCE.
- Carvalho, R. L. and Schwartz, C. W., 2006. *Comparisons of Flexible Pavement Designs AASHTO Empirical Versus NCHRP Project 1-37A Mechanistic-Empirical*. Journal of the Transportation Research Board, No. 1947, pp. 167-174
- Li, H., Jones, D., and Harvey, J., 2012. *Development of Mechanistic-Empirical Design Procedure for Fully Permeable Pavement Under Heavy Traffic*. Journal of the Transportation Research Board, No. 2305, pp. 83-94
- Hamdar, Y., 2016. *Effective Incorporation of Asphalt Mixture Properties in the Structural Design of Asphalt Pavements as a Precursor for Implementing Performance-Based Design*. American University of Beirut, Master Thesis
- Luo, Z., Xiao, F., Sharma, R., 2014. *Efficient reliability-based approach for mechanistic-empirical asphalt pavement design*. Construction and Building Materials 64, pp. 157-165
- Islam, S. et al, 2019. *Implementation of AASHTOWare Pavement ME Design Software for Asphalt Pavements in Kansas*. Transportation Research Record, Vol 2673(4), pp. 490-499
- Sadek, H. A. et al, 2014. *Implementation of mechanistic-empirical pavement analysis in the State of Qatar*. International Journal of Pavement Engineering, Vol. 15, No. 6, pp. 495-511
- McInvale, H. D. et al, 2012. *Load and Resistance Factors and Design Parameter Offsets for Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*. Journal of the Transportation Research Board, No. 2305, pp. 162-169
- Yuan, X. and Nemstov, I., 2018. *Local Calibration of the MEPDG Distress and Performance Models for Ontario's Flexible Roads. Overview, Impacts, and Reflection*. Transportation Research Record, Vol. 2672(40), pp. 207-216
- NCAT Research Synopsis 14-04. *Flexible Pavement Design – State of the Practice*. Auburn University
- Cooper, S. et al, 2012. *Performance and Cost-Effectiveness of Sustainable Technologies in Flexible Pavements Using the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 24(2), pp. 239-247
- Xiao, Y., Tutumluer, E. and Mishra, D., 2015. *Performance Evaluations of Unbound Aggregate Permanent Deformation Models for Various Aggregate Physical Properties*. Journal of the Transportation Research Board, No. 2525, pp. 20-30
- Cetin, B. et al, 2017. *Performance of Different Climate Data Sources in Mechanistic-Empirical Pavement Distress Analyses*. Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, Vol. 144(1)

Buch, N. et al, 2013. *Preparation for Implementation of the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide in Michigan*. Technical Report, Report # RC-1594, Michigan State University, Michigan Department of Transportation

Hu, S. et al, 2014. *Reliability-Based Mechanistic-Empirical Flexible Pavement Design*. Journal of the Transportation Research Board, No. 2456, pp. 85-95

Wu, Z., Xiao, D. X. and Zhang, Z., 2016. *Research Implementation of AASHTOWare Pavement ME Design in Louisiana*. Journal of the Transportation Research Board, No. 2590, pp. 1-9

Solanki, P. and Ray, B., 2015. *Sensitivity Analysis of Flexible Pavement Sections Using Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*. International Journal of Pavement Research and Technology, Vol. 8, No. 6, pp. 433-439

Islam, S., 2019. *Implementation of AASHTOWare Pavement ME Design Software for pavement rehabilitation*. Kansas State University, Doctoral Dissertation

Li, J. et al, 2010. *Updating the Pavement Design Catalog for the Washington State Department of Transportation*. Journal of the Transportation Research Board, No. 2154, pp. 124-129