

Modeller for vejbelægnings nedbrydning – baseret på moderne målemetoder

Udvikling af nye nordiske modeller for vejes nedbrydning på netværksniveau

Af

Civilingeniør, ph.d. Gregers Hildebrand, Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut (ghb@vd.dk)

Civilingeniør, Mogens Løvendorf Holst, COWI A/S (mlh@cowi.dk)

Civilingeniør Asmus Skar Christiansen, COWI A/S (asch@cowi.dk)

Civilingeniør Adriána Hudecz, Danmarks Tekniske Universitet (ahud@byg.dtu.dk)

Civilingeniør Susanne Baltzer, Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut (sub@vd.dk)

Et flerårigt nordisk samarbejdsprojekt har produceret et model-koncept, der på et overordnet (netværks-) niveau kan beskrive, hvorledes vejnettets belægningstilstand udvikler sig som funktion af trafik og klima. Det udviklede koncept er et software-program baseret på moderne metoder til indmåling af vejens tilstand med hensyn til bæreevne og overflade. Modellerne er kalibreret til nordiske forhold og kan indbygges i eksisterende vejforvaltningssystemer, som hermed kan forbedres.

Baggrund

Et skandinavisk forskningsprojekt tilbyder let implementerbare løsninger på udfordringen med at ajourføre eksisterende vejforvaltningssystemer med nutidige målemetoder, som tillader indsamling af objektive tilstandsdata ved målehastigheder svarende til trafikal hastighed.

Projektet fokuserer på netværksplanlægning for store veje i de nordiske lande. Formålet med netværksmodellerne er at forudsige en gennemsnitlig nedbrydning for et net af veje – i modsætning til modellering på projektniveau, hvor man søger at forudsige en detaljeret nedbrydning af en specifik og begrænset vejstrækning. Til planlægning af belægningsvedligehold på netniveau er opgaven at beskrive generelle vedligeholdelsesindsatser, som kan anvendes til at vurdere overordnede, fremtidige behov for investeringer i nye vejbelægnings for et helt vejnet. Det fremtidige behov for investeringer kan således simuleres ved anvendelse af varierende tal for eksempelvis trafikmængde og vedligeholdelsesbudget.

NordFoU – hvad er det?

Projektet Pavement Performance Models er udført i regi af det nordiske NordFoU-samarbejde. NordFoU er et samarbejde mellem de nationale nordiske vejforvaltninger og har til formål at initiere, samfinansiere og iværksætte forsknings- og udviklingsprojekter. Projektet om modellering af vejes nedbrydning blev foreslået af Vejdirektoratet i Danmark og er blevet finansieret af vejdirektoraterne i Danmark, Sverige, Norge samt Island.

Norge har været administrativ leder af projektet, mens de primære udførende kræfter har været Vejdirektoratet i Danmark samt Vägverket (nu Trafikverket) i Sverige. Projektet, som slutter primo

2011, har haft en løbetid på 3 år og en samlet projektsum på 800.000 euro finansieret af de fire deltagende lande. Projektet har været opdelt i to dele:

- Modellering af vejes nedbrydning på netværksniveau – ansvarlig: Vejdirektoratet, Danmark
- Modellering af vejes nedbrydning på projektniveau – ansvarlig: Vägverket, Sverige.

Sondringen mellem netværks- og projektniveau handler om detaljeringsgraden i den gennemførte analyse. Er vi på jagt efter information for en enkelt vejstrækning (eller en del heraf), taler vi om det detaljerede projektniveau, mens netværksniveau handler om at beskrive et helt vejnet (eller en større del heraf). Denne artikel beskriver udelukkende netværksdelen af projektet.

Arbejdet med nedbrydningsmodeller på netværksniveau er udført af Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut med bistand fra COWI og DTU.

Krav til nordisk model-system

Kravene til det ønskede system var følgende:

- Generelt system som kan tilpasses nordiske forhold
- Baseret på anerkendt grundlag
- Input fra objektive tilstandsdata
- Input fra måleudstyr med trafikale hastigheder

Slutresultatet skulle være en software-model, som (med passende kalibrering) kan anvendes til beskrivelse af nordiske vejbelægnings tilstandsudvikling på netværksniveau. Nordiske vejbestyrelser skal være i stand til at plukke hele den udviklede koncept-model eller blot dele deraf.

For at leve op til de stillede krav ønskede vi at basere os på et anerkendt grundlag, hvor vi kunne få adgang til lokal tilpasning af de anvendte modeller. Det anerkendte grundlag skal sikre troværdigheden af det foreslåede system, og den lokale tilpasning skal sørge for at modellen kan bringes til at passe på helt specifikke geografiske vejnet. Objektive tilstandsdata skal sikre kvaliteten og ensartetheden af inddata til systemet, mens måleudstyr med trafikale hastigheder sikrer effektivitet samt trafikalsikkerhed under målearbejdet.

Efter et grundigt studium af nedbrydningsmodeller fra det meste af verden valgte vi at basere vores arbejde på Verdensbankens HDM-4 model, som opfylder de stillede betingelser: den er globalt anerkendt, og den giver let adgang til modeller, som kan kalibreres til lokale forhold.

HDM-4 forudsiger vejens nedbrydning (udtrykt i jævnhed, sporkøring, revner, bæreevne) på baggrund af viden om:

- Trafik
- Vejens opbygning
- Vejens nuværende belægningstilstand
- Klima
- Vejens vedligeholdelsesstandard

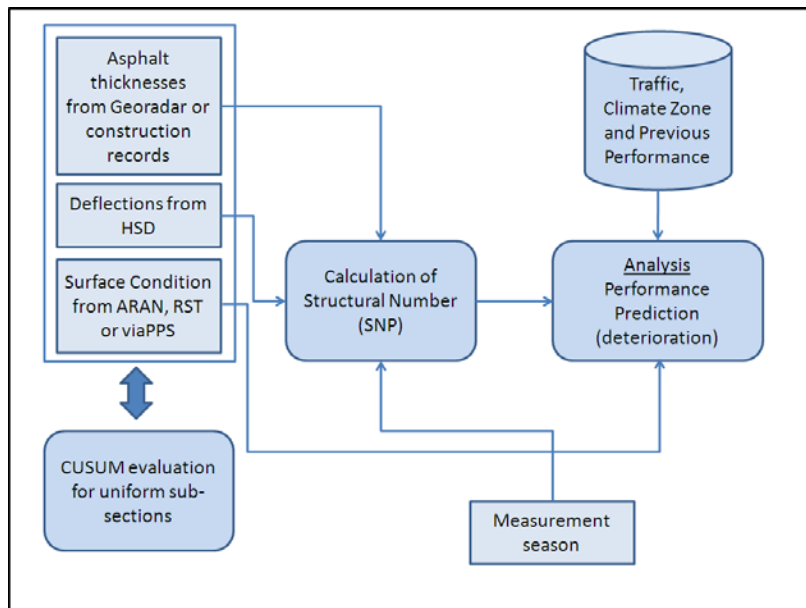
Det foreslåede modelkompleks er baseret på input-data fra følgende målemetoder, som udføres ved trafikale hastigheder (Figur 1): georadar (lagtykkelser), High Speed Deflectograph (bæreevne) samt

multimåleudstyr (jævnhed, sporkøring, revner). Dette er udstyr, som i dag anvendes i Danmark, og som kan anvendes i alle de nordiske lande.



Figur 1. Udstyr til objektiv måling af belægningstilstand (fra venstre: Georadar – CEDEX, Spanien, ARAN-bil, Vejdirektoratet, High Speed Deflectograph, Vejdirektoratet).

På baggrund af de indledende undersøgelser af tilgængelige nedbrydningsmodeller, valget af HDM-4 samt ønsket om at bringe de nævnte måleudstyr i anvendelse har vi opstillet følgende systemkompleks til forudsigelse af fremtidig belægningstilstand:



Figur 2. Foreslået nordisk model-system til beskrivelse af tilstandsudvikling af vejbelægninger.

Figur 2 beskriver, at målinger af belægningstykkelse, bæreevne, jævnhed, sporkøring, revner mv. benyttes til at inddele vejnettet i ensartede strækninger, for hvilke et såkaldt Structural Number udregnes. Denne parameter bruges herefter til at fremskrive belægningstilstanden ud fra viden om trafik og klima.

Arbejdet med HDM-4

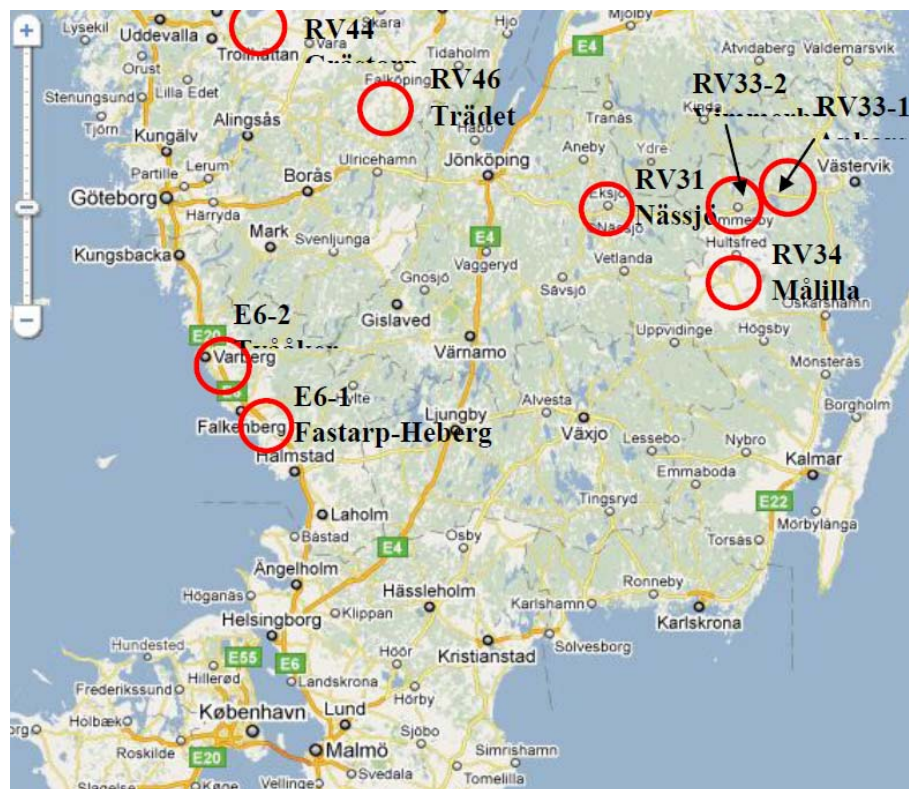
For at kunne anvende HDM-4 helt frit valgte vi at programmere alle modellerne fra HDM-4 i matematik-softwaren MATLAB. Herved har vi fuldstændig frihed til at justere og kalibrere modeller, så de passer til skandinaviske forhold. Processen med MATLAB bestod af tre dele:

- Følsomhedsanalyse i HDM-4
- Programmering og kontrol af MATLAB-programmets korrekthed
- Sammenligning med HDM-4 (validering)

Følsomhedsanalysen skulle vise os betydningen af de rigtig mange parametre i HDM-4. Programmering i MATLAB var omstændelig på grund af de særdeles komplicerede formeludtryk i HDM-4 samt de i visse tilfælde lidt mangelfulde beskrivelser i HDM-manualerne. Valideringen af MATLAB-programmet i forhold til HDM-4 var nødvendig for at sikre, at vort eget program svarede til udgangspunktet: HDM-4. Først da dette var konstateret, kunne vi gå i gang med at kalibrere modeller til skandinaviske forhold.

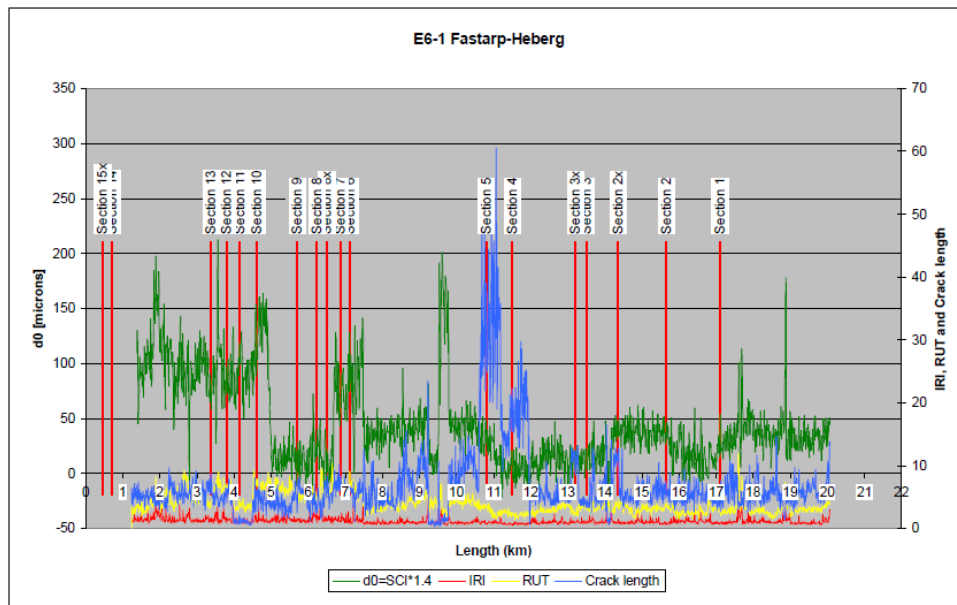
Data til model-system

For at kunne tilpasse vores nye MATLAB-system til reelle nordiske forhold skulle vi finde et antal vejstrækninger med kendt historie. Det svenske vejdirektorat var leveringsdygtig i et større antal strækninger, og på tre dage i september 2010 gennemmålte vi otte strækninger som vist i Figur 3. Vi målte bæreevne med High Speed Deflectographen samt jævnhed, sporkøring og revner med ARAN-udstyret. Da de otte strækninger i Sverige var velbeskrevne, udførte vi ikke lagtykkelsesmålinger med georadar. I stedet anvendte vi arkivoplysninger.



Figur 3. Placering af observations-strækninger i Sverige.

Et eksempel på registrerede data fra en af prøvestrækningerne kan ses i figur 4:



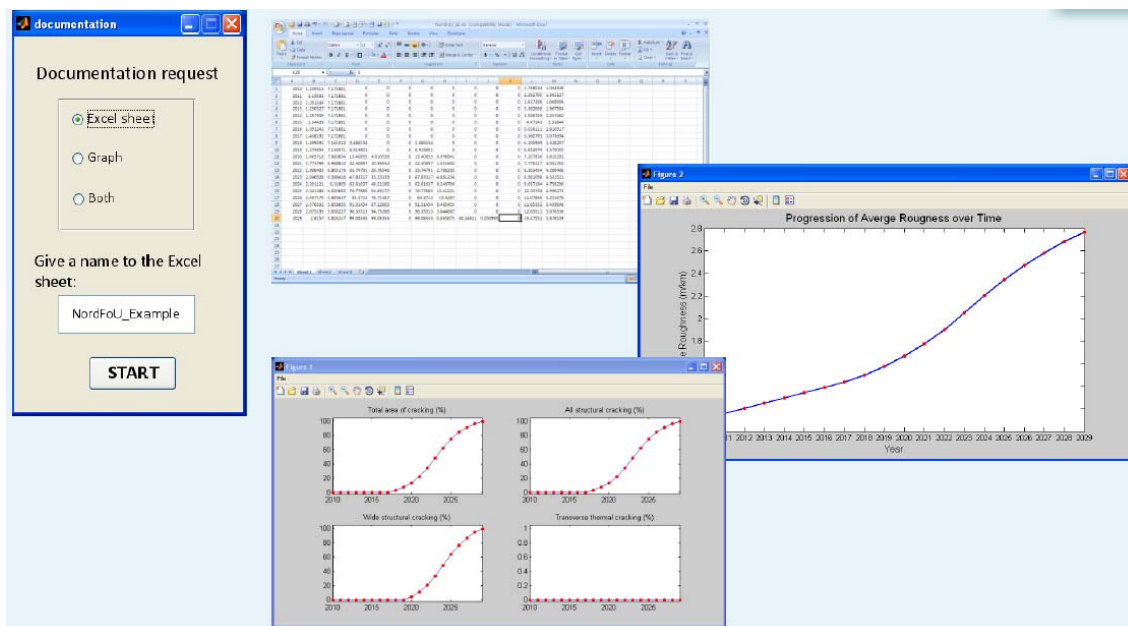
Figur 4. Resultater fra målinger på observations-strækning på E6 i Sverige. Grøn signatur: High Speed Deflectograph centerdeflektion, rød signatur: jævnhed, gul signatur: sporkøring, blå signatur: revnelængde.

Figur 4 viser resultater fra en observations-strækning bestående af asfalt (km 1-9) samt beton (km 9-20). De rigtig mange revner omkring km 11 viste sig at være helt korrekte: vejen var gennemrevnet. Dette gav sig dog ikke udslag i forringet jævnhed eller sporkøring eller bæreevne for den sags skyld.

På baggrund af resultaterne fra målingerne i Sverige samt historiske data fra de samme otte strækninger er modellerne i MATLAB-programmet blevet kalibreret, så der er overensstemmelse mellem måleresultater og modelberegninger. Kalibreringen er foretaget med hensyn til jævnhed og sporkøring.

Eksempel på anvendelse af koncept-system

For at give et indtryk af hvad man kan få ud af det opstillede koncept-system viser Figur 5-8 et eksempel på en beregning af forventet nedbrydningsforløb. MATLAB-programmet er på engelsk, let at bruge, åbent og så er det gratis. Der er ret så mange input-parametre, men der er givet forslag til de fleste, så i mangel af bedre kan brugeren benytte programmets forslag.



Figur 7. Resultater fra MATLAB-program. Nedbrydningskurver for revner (midten nederst) samt jævnhed (til højre).

Konklusioner og anbefalinger

Vi har formuleret, programmeret og kalibreret et model-system til forudsigelse af fremtidig belægningstilstand for veje. Systemet er baseret på det anerkendte HDM-4 system, og hele det nye program eller enkelt-dele af det kan implementeres i eksisterende vejforvaltningssystemer. Det fremstillede system er let at kalibrere til lokale forhold, og inddata er baseret på moderne måleudrustning, som fungerer ved trafikens hastighed, hvilket giver effektivitet og trafiksikkerhed.

Det fremstillede system vil kunne forbedre datagrundlaget og dermed beslutningsgrundlaget for nordiske vejbestyrelser.

Systemet er kalibreret i forhold til otte svenske observationsstrækninger. Dette bør suppleres med flere kalibreringsdata fra eksempelvis Danmark. Det vil desuden være gavnligt, hvis vejbestyrelserne får udført tilstandsmålinger på helt nye veje, idet man herved får et startpunkt for nedbrydningsmodellerne.