



SINTEF

# Rapport

## Funksjonsbasert N200 – Krav til ubundne materialer i bære- og forsterkningslag

### Forfattere:

Kai Rune Lysbakken, Torun Rise og Inge Hoff

### Rapportnummer:

2021:01012 - Åpen

### Oppdragsgiver:

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Myndighet og regelverk

# Prosjektrapport

## Funksjonsbasert N200 – Krav til ubundne materialer i bære- og forsterkningslag

**EMNEORD:**Vegbygging,  
funksjonskrav, ubundne  
materialer**VERSJON**

2.0

**DATO**

2021-10-21

**FORFATTERE**

Kai Rune Lysbakken, Torun Rise og Inge Hoff

**OPPDRAGSGIVER**

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Myndighet og regelverk

**OPPDRAGSGIVERS REFERANSE**

Kjell Arne Skoglund

**PROSJEKTNUMMER**

102026160

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

16+ 0 Bilag/vedlegg

**SAMMENDRAG**

Denne rapporten omhandler vurderinger knyttet til mulige funksjonskrav for ubundne materialer i bære- og forsterkningslag. SINTEF mener det er mest realistisk å stille funksjonskrav til vegbygging ved å stille krav til skadeutvikling og tilstand på vegoverflaten. Dette innebærer at det ikke stilles krav på de enkelte komponentene av en vegkonstruksjon, men på konstruksjonen i sin helhet.

SINTEF mener at slike funksjonskrav bør innføres med en tilnærming der etterlevelse av funksjonskrav dokumenteres og sannsynliggjøres gjennom analytisk dimensjonering, men at fagområdet enda ikke kommet langt nok til at det kan gjennomføres på en god og sikker måte i løpet av kort tid.

**UTARBEIDET AV**

Kai Rune Lysbakken

## SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**

Stein Olav Christensen

## SIGNATUR

**GODKJENT AV**

Gunrid Kjellmark

## SIGNATUR

  
Gunrid Kjellmark (Oct 21, 2021 10:11 GMT+2)**RAPPORTNUMMER**

2021:01012

**ISBN**

978-82-14-07724-7

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2021-09-20	Utkast til oppdragsgiver
1.0	2021-10-08	Endelig rapport.
2.0	2021-10-21	Mindre revisjon i kap. 4.1, samt endret tittel på rapport

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Bakgrunn</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Funksjonsbaserte krav til vegbygging i Nederland og Finland</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Ubundne materialer i bære- og forsterkningslag</b> .....	<b>7</b>
4.1	Bruk av lokale masser .....	7
4.2	Bruk av ubundne materialer .....	8
4.3	Negative konsekvenser av funksjonssvikt for ubunden materialer .....	9
<b>5</b>	<b>Mulige prinsipper for funksjonskrav til ubundne materialer</b> .....	<b>10</b>
5.1	Funksjonskrav måles og følges opp gjennom vegen levetid.....	12
5.2	Funksjonskrav dokumentert under oppbygging .....	12
5.3	Funksjonskrav dokumentert gjennom analytisk dimensjonering.....	12
<b>6</b>	<b>Funksjonskrav kombinert med analytisk dimensjonering (anbefalt løsning)</b> .....	<b>13</b>
6.1	Materialtesting.....	13
6.2	Beregning av skadeutvikling (performance prediction).....	14
6.3	Oppfølging under bygging og etter ferdigstilling .....	14
6.4	Hva skjer ved uventet rask skadeutvikling.....	14
<b>7</b>	<b>Oppsummering og konklusjon</b> .....	<b>15</b>
<b>8</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>16</b>

## 1 Innledning

SINTEF bistår Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Myndighet og regelverk (i det videre forkortet til SVV) med vurderinger knyttet til videreutvikling av håndbok N200 Vegbygging i en mer funksjonsbasert retning.

SINTEF utarbeidet i juni 2021 en rapport med vurderinger av eksisterende funksjonskrav i N200, samt hvordan håndboka kan utvikles til å ha flere funksjonskrav og beskrivelser [1]. Rapporten inneholdt også vurderinger av konsekvenser av funksjonskrav med muligheter, gevinster og utfordringer, samt at den beskrev et utvalg eksempler på funksjonskrav fra andre bransjer og andre land. Med bakgrunn i SINTEFs beskrivelser, vurderinger og anbefalinger, har SVV valgt å utløse en opsjon som omfatter en videreføring av dette arbeidet.

I foreliggende rapport er det valgt å fokusere på funksjonskrav ved ubundne materialer i bære- og forsterkningslag slik det ble foreslått i SINTEFs rapport fra juni 2021. Etter ønske fra SVV er det i tillegg gjort et forenklet søk med tanke på status og erfaringer med funksjonskrav i Nederland og Finland.

## 2 Bakgrunn

Håndbok N200 Vegbygging er den grunnleggende tekniske standarden for vegbygging i Norge. I dag er denne standarden i hovedsak erfaringsbasert, og gir detaljerte krav til materialer og dimensjoner bygget på analyse av tidligere vegprosjekt supplert med felt- og laboratorieforsøk samt teoretiske betraktninger. Flere av kravene har ikke tilgjengelig dokumentasjon av vurderingene som er gjort tidligere og det er derfor vanskelig å revidere dem.

Det er fra flere hold kommet ønsker om økt bruk av funksjonskrav. SINTEF utarbeidet i juni 2021 en rapport [1] som omhandlet vurderinger knyttet til videreutvikling av håndbok N200 i en mer funksjonsbasert retning. Gjennom litteratursøk ble det sett på erfaringer med funksjonskrav innen andre samfunnsområder og ved vegbygging i andre land. Med basis i dette ble det gitt en generell diskusjon av viktige aspekter knyttet til funksjonskrav, i tillegg til en konkret diskusjon av mulige funksjonskrav for frostsikringslag.

Rapporten oppsummerer blant annet at det er krevende å utforme funksjonskrav for vegbygging som er praktisk etterprøvbare innen rimelig tid og på en måte som vil være tilfredsstillende for både entreprenør og byggherre. For å kunne etablere funksjonskrav innen vegbygging beskrev SINTEF i rapporten følgende forslag til videre arbeid:

1. Nærmere undersøkelser av erfaringer med innføring av funksjonskrav i vegbygging i andre land.
2. Strategisk arbeid knyttet til hvordan funksjonskrav skal fungere i og for de ulike delene av bransjen og hvordan dette kan tenkes å implementeres. Dette omfatter blant annet identifisering og tiltak knyttet til eksempelvis nødvendig kompetansebehov, kunnskapsbehov, utvikling av veiledere eller andre tjenester som hjelpemiddel for prosjektering og bygging, samt kontraktstrategier og kontraktsutvikling.
3. For utvikling av funksjonskrav anbefales det å se på et område der man ser et potensiale for bedre utnyttelse av ressurser gjennom funksjonskrav, eksempelvis ved bruk av ubundne materialer i bære- og forsterkningslag.

Som beskrevet innledningsvis ønsker SVV at SINTEF i foreliggende rapport fokuserer på to punkter:

- Funksjonsbaserte krav til vegbygging i Nederland og Finland
- Funksjonskrav til ubundne materialer i bære- og forsterkningslag

Det er i det videre gitt en kort vurdering av funksjonsbaserte krav til vegbygging i Nederland og Finland, samt en nærmere beskrivelse av ubundne materialer i bære- og forsterkningslag og hvordan man kan tenke seg innføring av funksjonskrav i forhold til dette.

I etterkant av at SINTEF leverte sin rapport [1] i juni 2021, er håndbok N200 revidert (juni 2021). Denne revisjonen er i hovedsak knyttet til en digitalisering av håndboka, men også en tydeliggjøring av krav og funksjonskrav. Foreliggende rapport har kun tatt en overordnet gjennomgang av funksjonskravene som er beskrevet i revidert håndbok, og det er konkludert med at disse ikke omhandler ubundne materialer i særlig grad. Revidert håndbok N200 er derfor ikke omtalt nærmere i det videre.

### 3 Funksjonsbaserte krav til vegbygging i Nederland og Finland

Et av forslagene til videre arbeid i rapporten til SINTEF [1] fra juni 2021, var å se nærmere på erfaringer med innføring av funksjonskrav i andre land. Siden dette er et felt der resultater og erfaringer ofte ikke publiseres i faglitteraturen, var anbefalingen å henvende seg direkte til vegmyndigheter eller andre fagmiljø i relevante land. Det har ikke vært innenfor rammen av dette oppdraget å gå videre med slike litteratur- og informasjonssøk. SVV ønsket likevel at SINTEF utførte et raskt og begrenset søk etter informasjon om funksjonskrav til vegbygging i Nederland og Finland. Dette fordi disse har blitt nevnt som land som har kommet langt med bruken av funksjonskrav.

Etter hva SINTEF erfarer, har ordinære vegbyggingsprosjekter i Finland krav med format på linje med norske krav [2]. Det vil eksempelvis si krav til Los Angeles-verdi, kornfordeling, fryse-tine motstand mv. For en tid tilbake (15-20 år) var det i Finland stort fokus på funksjonskrav. Da ble funksjonskrav også anvendt i noe grad, men i hovedsak på større vegprosjekt der drift- og vedlikehold var en del av kontrakten i en gitt periode etter åpning. Antagelig dreier dette seg om en form for OPS-prosjekter. SINTEF er ikke kjent med i hvilken grad funksjonskrav benyttes innen vegbygging generelt og for ubundne materialer spesielt i dagens vegbygging i Finland.

I Nederland ble det etter hva SINTEF har funnet ut, innført funksjonskrav for 10-15 år tilbake. Med basis i funksjonskravene er det, slik SINTEF forstår det, også utarbeidet en håndbok med mer detaljerte beskrivelser som tilfredsstillende kravene. Denne håndboken utgis ikke av vegmyndighetene, men CROW som er en organisasjon som jobber med FoU, standardisering og kunnskapsformidling innen transport og infrastruktur. Håndboken selges via CROW [3], men denne er ikke kjøpt eller studert nærmere i forbindelse med utarbeidelse av foreliggende rapport.

Rent teknisk så vil det være relativt stor forskjell i vegbygging mellom Nederland og Norge. Dette blant annet på grunn av ulik materialbruk og ulike skademekanismer. Det er derfor stor grunn til å anta at det vil være liten overføringsverdi når det gjelder utforming og nivå på krav, men det kan være nyttig å se på regimet rundt kravene, eksempelvis hvordan de brukes ved prosjektering, bygging og implementering i kontraktsammenheng.

## 4 Ubundne materialer i bære- og forsterkningslag

### 4.1 Bruk av lokale masser

Kravene som stilles til ubundne materialer for bruk i bære- og forsterkningslag i dagens N200 utelukker ofte bruk av lokale masser. Dette kan medføre at de lokale massene kjøres på deponi eller benyttes til mindre høyverdige formål, før godkjente masser fra masseuttak må transporteres inn, ofte over lange avstander. Det presiseres at foreliggende rapport har fokus på ubundne materialer til vegoppbygging, med hovedfokus på bære- og forsterkningslag. Håndbok N200 åpner for bruk av lokale masser i eksempelvis forstærkningslag og fylling, hvor det ikke stilles krav til materialenes mekaniske egenskaper, men dette omtales ikke nærmere i denne rapporten.

I henhold til Parisavtalen har Norge forpliktet seg til å redusere sine nasjonale klimagassutslipp med 50-55%. For å oppnå målet om et lavutslippssamfunn i 2050, må utslippene redusere med hele 85-90% sammenlignet med 1990-nivå [4]. Den norske anleggssektoren står for en betydelig andel av de nasjonale klimagassutslippene, blant annet gjennom transport av masser på norske veger. 20% av all lastebiltransport er transport av byggeråstoffer [5].

Økt bruk av lokale masser kan derfor bidra til både reduserte kostnader og reduserte klimagassutslipp. I tillegg reduserer det behovet for uttak av såkalt jomfruelige masser, og bidrar til økt levetid på grus- og pukkressursene.

En av de største utfordringene knyttet til bruk av lokale masser er kvalitet. Eksempelvis kan man oppleve at de lokale massene har en Los Angeles-verdi (motstand mot nedkusing) og Micro Deval-verdi (motstand mot slitasje) som akkurat faller utenfor kravene. I slike tilfeller ender man ofte opp med å vurdere andre bruksområder eller kjøre massene på deponi. Dersom man hadde hatt funksjonskrav knyttet til de ubundne materialene, er det grunn til å tro at man i større grad kunne utnyttet denne typen masser som ikke helt tilfredsstillt dagens krav, eksempelvis gjennom økt lagtykkelse eller lignende. En overgang til mer funksjonsbaserte krav, framfor absolutte krav til eksempelvis mekanisk styrke, vil derfor være et godt steg på vegen for økt bruk av lokale masser. Dette vil både prosjektene og samfunnet tjene på, gjennom blant annet økt ressursutnyttelse og redusert transport. Økt bruk av lokale masse er derfor et av hovedmomentene som viser potensialet som ligger i økt bruk av funksjonsbeskrivelser.



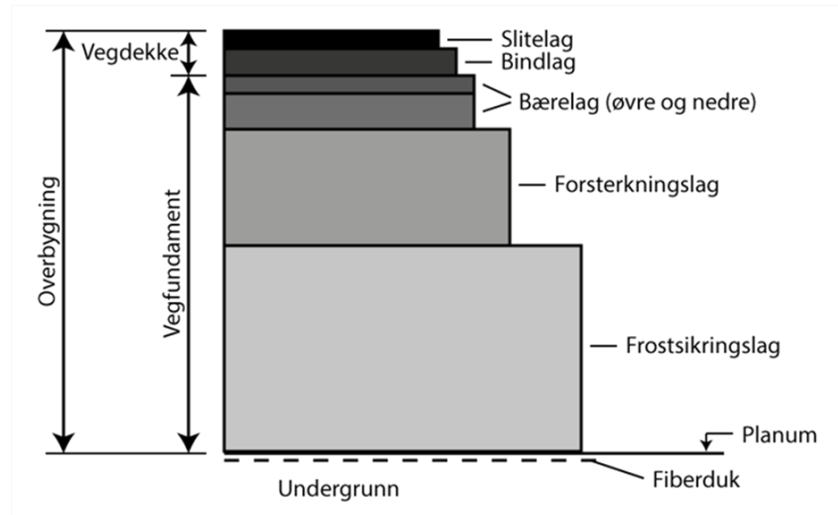
## 4.2 Bruk av ubundne materialer

Funksjonen som forventes av ubundne materialer er i hovedsak følgende;

- God lastfordelende evne, det vil si høy elastisk stivhet
- God motstand mot permanente deformasjoner
- Tilstrekkelig god motstand mot frostnedtrengning

Dersom disse funksjonene ikke er oppfylt, vil det utvikle seg skader i vegkroppen og levetiden på vegkonstruksjonen vil bli kortere enn hva man ønsker. I tillegg bør materialene ha tilstrekkelig god motstand mot nedknusing, selv om dette ikke er en direkte funksjon. Motstand mot nedknusing er likevel et viktig moment, da nedknusing vil kunne være med på å gi skader i vegoppbyggingen.

En vegg overbygning deles i to deler; vegfundament og vegdekke. En prinsippskisse for vegoverbygning er illustrert i Figur 1. Som angitt i figuren består vegfundamentet av frostsikringslag, forsterkningslag samt bærelag. Vegdekket består av bindlag og slitelag (også dette angitt nedenfra).



Figur 1: Prinsippskisse vegoverbygning [6].

Dagens beskrivelser av krav til materialer og utførelse av vegoppbygging er gitt i N200. Kravene som stilles avhenger av om tilslagsmaterialet skal benyttes i dekke, bærelag eller forsterkningslag, og kravene øker med økende årstdøgntrafikk (ÅDT).

Som beskrevet innledningsvis er det i denne rapporten valgt å fokusere på ubundne materialer i bære- og forsterkningslag. For disse lagene stilles det blant annet mekaniske krav til massene i form av Los Angeles-verdi (LA-verdi) og Micro-Deval-verdi (MD-verdi), som vist i Tabell 1. Trafikkgruppe A er trafikkgruppen med lavest trafikk angitt som <500 000 ekvivalente 10 tons aksler, og omfatter også gang- og sykkelveger samt parkeringsplasser for lette kjøretøy. De øvrige trafikkgruppene har høyere årstdøgntrafikk (ÅDT), hvor trafikkgruppe F har høyest trafikk med >10 000 000 ekvivalent 10 tons aksler.

Tabell 1: Mekaniske krav til forsterknings- og bærelag [7].

Trafikkgruppe	Los Angeles-verdi		Micro Deval-verdi	
	A	B-F	A	B-F
Forsterkningslag	≤ 40	≤ 35	≤ 25	≤ 20
Bærelag	≤ 40	≤ 35	≤ 20	≤ 15

I tillegg til mekaniske egenskaper, stilles det også krav om steinstørrelse og korngradering (forsterkningslag) samt flisighetsindeks, humusinnhold, korngradering, maksimal kornstørrelse og maksimum finstoffinnhold (bærelag).

Filosofien er at om materialene oppfyller disse kravene, vil de gi en vegkonstruksjon med tilfredsstillende stivhet (dvs. lastfordeling) og motstand mot permanente deformasjoner (dvs. unngår spordannelse). Man måler med andre ord indirekte de egenskapene som man trenger for å få en veg med akseptabel levetid. Siden kravene er satt basert på erfaringer og med en rimelig sikkerhetsfaktor, vil man som regel få et godt resultat.

Imidlertid vil man i flere tilfeller se at kravene utelukker bruk av lokale materialer og man ender opp med lange transportavstander både av overskuddsmasser til deponering og materialer som tilfredsstillende kravene til bruk i vegbyggingen. Dersom lokale materialer ikke ligger svært langt unna dagens krav, kunne man tenke seg alternative oppbygging eller anleggsorganisering som ville gitt gode resultater med økonomiske og miljømessige fordeler. Godt stilte funksjonskrav kan være en måte å realisere dette potensialet. En av de største utfordringene er imidlertid de store konsekvensene som kan oppstå knyttet til feil som blir gjort langt nede i en vegkonstruksjon, dersom feilene ikke blir oppdaget før lagene over legges. En nærmere beskrivelse og vurdering av funksjonskrav til ubundne materialer er gitt i kapittel 5.

### 4.3 Negative konsekvenser av funksjonssvikt for ubunden materialer

Det finnes flere potensielle muligheter for funksjonssvikt for ubundne materialer, med dertil hørende negative konsekvenser. Dette omfatter blant annet lav lastfordelende evne og lav motstand mot permanente deformasjoner. Det må i tillegg nevnes at riktig utførelse er av stor betydning for et godt resultat. Dette omfatter momenter slik som utlegging, vanning og komprimering.

Den lastfordelende evnen er koblet til materialenes elastiske stivhet (E-modul). Hvis stivheten er lav, vil det føre til større nedbøyninger av asfalten under trafikk og etter en stund får man utmatting og oppsprekking/krakelering av slite- og bindelag.

Den andre effekten av lav stivhet er at spenningene som når ned til underliggende materialer blir for store. Dette vil gi seg utslag i deformasjoner som igjen gir seg utslag på overflaten som spor eller langsgående ujevnheter.

Dersom de ubundne materialene deformeres ved at kornene knuses eller beveger seg, vil dette forplante seg som spor i overflaten og ujevnheter på langs som følge av variasjoner.

## 5 Mulige prinsipper for funksjonskrav til ubundne materialer

Som beskrevet i tidligere rapport fra SINTEF [1] kan man stille krav til vegbygging på ulike nivåer. Der man på helt øverste nivå har trafikantkrav eller -effekter, eksempelvis krav til framkommelighet, trafikksikkerhet mv. Dernest kan det stilles krav til vegoverflaten gjennom eksempelvis spordannelse og jevnhet. Mens man på lavere nivå har ulike detaljerte krav på lag, materialer og utførelse. Dette er illustrert i Figur 2.



Figur 2: Kravpyramide.

Som påpekt har man økende grad av ansvar og risiko for entreprenør jo høyere opp i kravpyramiden man kommer. Det man kan betrakte som rene funksjonskrav vil være krav på de to øverste nivåene, det vil si enten krav på trafikantnivå eller krav til vegoverflaten. På lavere nivå vil man kunne ha krav som er funksjonsbaserte eller funksjonsrelaterte.

Krav på trafikantnivå er vurdert til å ikke være realistisk og hensiktsmessig. Dette blant annet fordi de er vanskelig å måle, at det er mange andre faktorer som påvirker disse målene og at det prinsipielt vil være problematisk å delegere ansvar for overordnede samfunns mål fra en vegmyndighet til entreprenører.

Hvis det skal stilles rene funksjonskrav så er det trolig mest realistisk og hensiktsmessig å stille krav til vegoverflaten og til skadeutvikling slik som spor, jevnhet, mv. Krav på dette nivået innebærer at det ikke stilles krav på de enkelte komponentene av en vegkonstruksjon, men på konstruksjonen i sin helhet. Det skiller da ikke spesielt på de ubundne materialene, men de må, i samvirke med resten av konstruksjonen, oppfylle funksjonen slik at kravene møtes.

I prinsippet kan det stilles krav til at det ikke skal dannes spor, ujevnhet, sprekker mv. over en viss grense basert på ønsket levetid. For å bestemme nivået på kravene vil det være naturlig å samordne med kravene til dekkevedlikehold gitt i SVVs håndbok R610 [8]. Eksempelvis bør kravet til maksimal sporutvikling som funksjonskrav til vegkonstruksjon stå i samsvar med kravene til maksimal spordybde i R610. Kravene til dekkevedlikehold gitt i R610 er dessuten framkommet gjennom beregninger av samfunnsøkonomiske effekter og man vil således ha en begrunnelse for nivået også ved bygging. Prinsipielt vil da funksjonskrav for eksempel kunne være som følgende;

- Tillatt spor etter x år
- Tillatt IRI (International roughness index) etter x år
- Tillatt oppsprekking etter x år
- Tillatt kantskader
- Andre relevante krav til vegoverflaten

I tillegg til disse kravene må det være bestemmelser om dimensjonerende trafikkklaster.

Her må det påpekes at de overordnede kravene også må inneholde krav som sikrer hele vegkonstruksjonen, det vil si også inkluderer dekke gjennom blant annet krav til friksjon, tverfall osv.

Det er viktig at funksjonskrav utformes på en helhetlig måte slik at entreprenøren ikke kan oppfylle kravene ved å ofre andre egenskaper. For eksempel om det stilles krav til spordannelse og ikke til oppsprekking kan det være fristende å velge et ekstra stivt bindemiddel som ikke deformeres så lett ved høye temperaturer, men som vil gi betydelige problemer ved lave temperaturer.

Det vil være forholdsvis greit å stille og følge opp krav til spor og jevnhet (IRI-) siden det finnes et effektivt og nøyaktig verktøy for å måle, og gjennom dekke-vedlikeholdssystemet (PMS – Pavement Management System) har man kunnskap om rimelige forventet skadeutvikling. Når det gjelder sprekker og andre skader finnes det ikke pr. i dag et system som kan karakterisere vegnettet på en effektiv måte. Dette innebærer at man foreløpig er avhengig av en tidkrevende visuell vurdering (karakterskala). Imidlertid er det under utvikling et system for å karakterisere sprekker ved hjelp av laserskanningene som ser ut til å være kommet ganske langt.

Funksjonskrav på dette nivået vil også kunne ha flere utfordringer. Blant annet vil slike krav kunne medføre stor risiko for entreprenør og byggherre. Eventuelle mangler kan oppdages langt ut i vegens dimensjonerte levetid. Det er likevel viktig å poengtere at man gjennom ulike måter å dokumentere, følge opp og håndheve slike krav, vil kunne håndtere og minimere utfordringer og risiko.

Prinsipielt kan man se for seg tre ulike tilnærminger for hvordan funksjonskrav i form av krav til vegoverflaten kan fungere:

1. Funksjonskrav måles og følges opp gjennom vegens levetid
2. Funksjonskrav dokumentert under oppbygging
3. Funksjonskrav dokumentert gjennom analytisk dimensjonering

Det er i det videre gitt en nærmere beskrivelse av de ulike tilnærmingene.

Et viktig element i å sette funksjonskrav er å tenke gjennom hva som skal skje om funksjonskravene ikke er oppfylt. Dette kan innebære oppgraving og oppbygging på nytt eller et rent økonomisk oppgjør. Et sentralt element vil ofte bli å avgjøre hva som er årsaken til at funksjonskravene ikke er oppfylt. Siden veger er kompliserte konstruksjoner kan det ofte være vanskelig å være sikker på hva som har gått feil og hva som vil være framtidig skadeutvikling.



## 5.1 Funksjonskrav måles og følges opp gjennom vegens levetid

Å stille krav til spor, jevnhet mv. for så å følge opp disse kravene gjennom vegens levetid (tilnærming 1) er etter SINTEF sin oppfatning hverken realistisk eller hensiktsmessig. Det vil medføre stor risiko for entreprenør og man kan oppdage mangler sent i vegens levetid. Dessverre vil flere av skadetyperne ikke følge en lineær utvikling slik at man kan forutsi framtidige skader basert på målinger etter kun en liten del av vegens levetid. Som for frostsikring vil feil og mangler ved ubundne materialer i bære- og forsterkningslag være kostbare å utbedre, og det vil i praksis si at store deler av vegkonstruksjonen må graves opp. Krav som medfører stor risiko for entreprenør, vil kunne bety at bransjen blir mer konservativ og bygger inn mer sikkerhet enn det som er praksis i dag. Denne måten å innføre funksjonskrav på vil i så måte kunne bety at man mister de positive effektene av funksjonskrav, eksempelvis slik som bruk av lokale masser samt reduserte kostnader og klimagassutslipp.

## 5.2 Funksjonskrav dokumentert under oppbygging

Funksjonskrav dokumentert under oppbygging er en tilnærming man i teorien kan tenke seg. Dette vil omfatte ulike feltmetoder som kan være med på å dokumentere at oppbyggingen vil gi en veg som tilfredsstillende funksjonskravene. Det finnes pr. i dag ingen feltmålinger der man kan vise til en klar sammenheng mellom resultatet fra målingene og tilstand/skadeutvikling i vegkonstruksjonen. Dette gjør at denne tilnærmingen ikke er realistisk i dag. Funksjonskrav dokumentert under oppbygging vil likevel kunne være en mulig tilnærming i framtiden, dersom man gjennom empiri over flere år vil kunne etablere feltmetoder med tydelig kobling mot funksjonskravene. Disse feltmetodene må gjennomføres i kritisk tilstand, det vil ved maksimal vannmetting, og være uttestet over lengre tid for å kunne dokumentere sammenheng og kobling mot funksjonskrav.

## 5.3 Funksjonskrav dokumentert gjennom analytisk dimensjonering

Funksjonskrav dokumentert gjennom analytisk dimensjonering anses som den mest aktuelle tilnærmingen, og er det alternativet som SINTEF vurderer som anbefalt løsning. Dette alternativet beskrives nærmere i kapittel 6.

## 6 Funksjonskrav kombinert med analytisk dimensjonering (anbefalt løsning)

Med utvikling av et analytisk dimensjoneringsystem som det jobbes med i VegDim-prosjektet [9], åpner det seg mulighet for å dokumentere egenskapene til materialer som brukes som input til systemet, som igjen kan forutsi skadeutvikling. Hvis denne beregnede utviklingen er akseptabel, og det er etablert tillitt til testmetoder og analyseverktøy, kan materialene brukes uavhengig av de detaljerte kravene som brukes i dag. Dette innebærer at man i større grad vil kunne benytte lokale masser som ikke tilfredsstiller kravene i dagens N200, eksempelvis masser med for høy Los Angeles-verdi.

Selv om denne metoden også vil kreve laboratorietesting, og da mer avanserte tester enn for de øvrige tilnærmingene, vil resultatene fra disse testene ikke bli målt opp mot krav, men mot mulig framtidig skadeutvikling.

### 6.1 Materialtesting

For ubundne materialer vil det være nødvendig å bestemme elastisk stivhet (E-modul) og motstand mot permanente deformasjoner ved forskjellige tilstander (komprimering, vanninnhold, tint/frosset mv.). Dette kan gjøres ved hjelp av et syklisk treaksialforsøk. Imidlertid er dette problematisk, siden det i dag bare er en håndfull personer som kan gjøre et slikt forsøk, og utstyret bare finnes ved NTNU i Trondheim.

Et mer realistisk utstyr er en Precision Unbound Material Analyser PUMA [10] produsert av Cooper Ltd, Nottingham UK eller tilsvarende, se Figur 3.



Figur 3: Precision Unbound Material Analyser (PUMA) fra Cooper.

Selv om utstyret er en forenkling i forhold til det mer avanserte utstyret som benyttes først og fremst til forskning, tror SINTEF dette kan være en akseptabel løsning som entreprenører og frittstående laboratorier kan utføre med akseptable kostnader.

Det jobbes med å bygge opp en database over egenskapene til vanlige materialer fra de største leverandørene. Denne databasen vil i første omgang inneholde materialer som oppfyller dagens krav og

det vil derfor være nødvendig å utføre nye forsøk for materialer som kan være aktuelle å innføre under funksjonskrav-tenkingen.

Ved fjerning av andre krav til materialet, blir det ekstremt viktig at materialene testes ved ugunstige forhold (f.eks. ved høyt vanninnhold) for å få en riktig vurdering. Det finnes materialer, eksempelvis soft limestone (kalkstein), som gir veldig gode resultater for treakstesting så lenge vanninnholdet ikke passerer en viss grense, men som gir nesten totalt kollaps på den andre siden av grensen.

## 6.2 Beregning av skadeutvikling (performance prediction)

Å estimere skadeutvikling for en vegkonstruksjon på tegnebrettet er ikke en triviell oppgave, men det har blitt utviklet noen verktøy som er tatt i bruk for dette formålet. Dette omfatter for eksempel AASHTOWare Pavement ME Design [11] (USA) og MMOPP [12] (Danmark). I Norge er det et nytt verktøy under utvikling i samarbeid mellom Statens vegvesen, Trafikverket, VTI og NTNU gjennom VegDim-prosjektet [9].

Når arbeidet med VegDim-prosjektet er ferdig, er målet at det er utviklet et verktøy som gjør at man kan forutsi skadeutvikling basert på trafikk, klima og materialer. Med et slikt verktøy står man friere til å kompensere bruken av et svakere materiale med for eksempel et stivere/tykkere materiale rett over.

Imidlertid vil programmet i første omgang bli kalibrert med vanlige materialer som oppfyller dagens krav og det vil nok være en betydelig usikkerhet knyttet til materialer som ligger langt utenfor dagens erfaringsgrunnlag. Det er i alle fall viktig at det er en god forståelse mellom den faktiske skademekanismen som skjer ute på vegen og hvilke forutsetninger og forenklinger som er gjort for at feltforsøket skal bli gjennomført på en realistisk måte.

Pr. i dag er ikke programmet ferdig, og det vil gjenstå en betydelig innsats knyttet til kalibrering og verifisering før programmet kan benyttes til praktisk dimensjonering der man kan utfordre dagens regelverk.

## 6.3 Oppfølging under bygging og etter ferdigstilling

Det er viktig å ha en kontroll på om konstruksjonen er bygd opp med materialer som oppfyller det som er lagt til grunn i modellen. Dette kan for eksempel gjøres ved å måle stivheter under oppbygging (f.eks. platebelastning, fallodd (FWD)). Disse målingene blir ikke direkte knyttet til krav, men gir mulighet for å kontrollere og eventuelt justere konstruksjonen.

Etter bygging måles skadeutvikling og sammenholdes med modellen. Siden klima inngår i modellen, kan man inkludere faktiske klimatiske forhold etter bygging slik at det er mulig å få til en verifisering med bedre sikkerhet og vesentlig raskere enn om det bare settes krav til skadeutvikling etter x år slik det er beskrevet i avsnitt 5.1.

## 6.4 Hva skjer ved uventet rask skadeutvikling

En dimensjonering basert på modellering som beskrevet her vil ha flere muligheter for tiltak dersom feil oppstår. Siden det eksisterer oversikt over forutsatte materialdata, vil det i større grad være mulig å identifisere feil om det skulle vise seg at skadeutviklingen er raskere enn forutsatt. Dette vil gjøre det lettere å finne korrigerende tiltak, og byggherre og entreprenør kan bedre samarbeide for å komme fram til en løsning.

## 7 Oppsummering og konklusjon

I denne rapporten diskuteres og vurderes funksjonskrav for vegbygging med hensyn på ubudne materialer i bære- og forsterkningslag. Med funksjonskrav vil man i større grad kunne utnyttet lokale masser som ikke helt tilfredsstillende dagens krav, eksempelvis kompensert gjennom økt lagtykkelse eller lignende. Dette vil både prosjektene og samfunnet tjene på, gjennom blant annet økt ressursutnyttelse og redusert transport. Økt bruk av lokale masser er derfor et av hovedmomentene som viser potensialet som ligger i økt bruk av funksjonsbeskrivelser.

Den mest realistiske måten å stille rene funksjonskrav til vegbygging på, er gjennom å stille krav til tilstand og skadeutvikling på vegoverflaten. Dette innebærer å stille krav til parametere slik som spordannelse, jevnhet, sprekker mv. Videre betyr det at det ikke stilles krav på de enkelte komponentene av en vegkonstruksjon, men på konstruksjonen i sin helhet. Krav på dette nivået vil potensielt ha flere utfordringer. Med ulike måter å dokumentere, følge opp og håndheve slike krav, vil utfordringer og risiko kunne håndteres og minimeres. I så måte pekes det på tre ulike tilnærminger:

1. Funksjonskrav måles og følges opp gjennom vegens levetid
2. Funksjonskrav forsøkes dokumentert under oppbygging
3. Funksjonskrav dokumenteres gjennom bruk av analytisk dimensjonering evt. kombinert med dokumentasjon under bygging.

Kort oppsummert vurderes tilnærming 1 som ikke realistisk. Bakgrunnen for dette er at tilnærmingen medfører stor risiko for entreprenør og man kan oppdage mangler sent i vegens levetid. Tilnærming 2 vurderes heller ikke som realistisk ut fra at det i dag ikke finnes feltmålinger der man kan vise til en klar sammenheng mellom resultatet av målinger og tilstand/skadeutvikling.

SINTEF mener dermed at eventuell innføring av slike funksjonskrav bør skje med en tilnærming der man dokumenterer og sannsynliggjør oppnåelse av funksjonskrav gjennom analytisk dimensjonering og eventuelt kombinerer dette med feltmålinger under bygging, eksempelvis platebelastning eller fallodd. Bruk av analytisk dimensjonering for å dokumentere oppnåelse av funksjonskrav betyr blant annet at det er nødvendig med materialtesting for å gi input til beregningene. For ubudne materialer vil det være nødvendig å bestemme elastisk stivhet (E-modul) og motstand mot permanente deformasjoner ved forskjellige tilstander (komprimering, vanninnhold, tint/frosset mv.). Det må bestemmes hvilke testmetoder som skal benyttes for slik materialtesting.

SINTEF mener det finnes et betydelig potensial for effektive og miljøvennlige løsninger ved innføring av funksjonskrav. Imidlertid er fagmiljøet ikke kommet langt nok til at det kan gjennomføres på en god og sikker måte i løpet av kort tid. Det trengs fortsatt utvikling av kunnskap og metoder (forskningsfront) slik som metoder for å teste materialer i laboratorium for å finne fundamentale materialegenskaper og modeller for å foreta analytisk dimensjonering av vegkroppen. Som påpekt i tidligere rapport [1] er det også et behov for å utvikle gode, detaljert regimer for hvordan kravene skal dokumenteres, følges opp og håndteres, sikre tilstrekkelig kompetanse i bransjen for å ta i bruk funksjonskrav mv.

Om innføring av funksjonskrav forsøres uten at kunnskap, metoder, kompetanse og rammeverk er på plass vil det være en betydelig fare for at man vil få mange eksempler på dårlige løsninger og økte konflikter. Dette kan i neste omgang bety at bransjen blir mer konservativ, går tilbake til tidligere krav og løsninger og at man mister det som skulle være fordeler med funksjonskrav.

En mulig tilnærming er at man i første omgang krever at funksjonen skal dokumenteres, mens man beholder de detaljerte kravene for å høste erfaringer.



## 8 Referanser

- [1] K. R. Lysbakken, T. Rise og I. Hoff, «Funksjonsbasert N200 Vegbygging (Rapportnr. 2021:00717 - Åpen),» 2021.
- [2] P. Kolisoja, *Personal communication*, Tampere, 2021.
- [3] CROW, «<https://www.crow.nl/publicaties/handboek-funderingsmaterialen-in-de-wegenbouw>,» [Funnet 24 09 2021].
- [4] SINTEF, «Veikart for grønn anleggsektor,» 2021.
- [5] T. Rise, L. Alnæs og I. Rambæk, «Oppnådde resultater i prosjektet Kortreist stein (2016-2019). ISBN 978-82-536-1643-8,» SINTEF, 2019.
- [6] J. Aurstad m. fl., «Lærebok Vegteknologi. Statens vegvesenes rapporter nr. 626,» Statens vegvesen, 2016.
- [7] Statens vegvesen, Håndbok N200, Vegbygging, Vegdirektoratet, 2018.
- [8] Statens vegvesen/Vegdirektoratet, «Håndbok R610 Standard for drift og vedlikehold av driftsveger,» 2012.
- [9] Statens vegvesen, «VegDim,» [Internett]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/forskning-innovasjon-og-utvikling/pagaende-programmer-og-prosjekter/vegdim/>. [Funnet 24 09 2021].
- [10] C. ltd, Cooper , 2021. [Internett]. Available: <https://www.cooper.co.uk/shop/asphalt-testing/unbound-materials-testing/precision-unbound-material-analyser/>. [Funnet 24 09 2021].
- [11] AASHTO, «AASHTOWare Pavement ME Design,» [Internett]. Available: <https://me-design.com/MEDesign/>. [Funnet 24 09 2021].
- [12] Vejdirektorat, «MMOPP,» [Internett]. Available: <https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/2019-05/Vejledning%20MMOPP.pdf>. [Funnet 24 09 2021].