



Rapport

Funksjonsbasert N200 Vegbygging

Forfattere

Kai Rune Lysbakken, Torun Rise og Inge Hoff

Rapportnr

2021:00717 - Åpen

Oppdragsgiver

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Myndighet og regelverk

Rapport

Funksjonsbasert N200 Vegbygging

EMNEORD:
Vegbygging Funksjonskrav
Frostsikring**VERSJON**

1.0

DATO

2021-06-24

FORFATTERE

Kai Rune Lysbakken, Torun Rise og Inge Hoff

OPPDRAUGSGIVER

Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Myndighet og regelverk

OPPDRAUGSGIVERS REFERANSE

Kjell Arne Skoglund

PROSJEKTNUMMER

102025526

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

23

SAMMENDRAG**Overskrift sammendrag**

Denne rapporten omhandler vurderinger knyttet til videreutvikling av håndbok N200 Vegbygging i en mer funksjonsbasert retning. Gjennom litteratursøk er det sett på erfaringer med funksjonskrav i andre samfunnsområder og ved vegbygging i andre land. Med basis i dette er det foretatt en generell diskusjon av viktige aspekter knyttet til funksjonskrav. Det er i tillegg foretatt en konkret diskusjon av mulige funksjonskrav for frostsikting.

UTARBEIDET AV

Kai Rune Lysbakken

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Stein Olav Christensen

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Gunrid Kjellmark

SIGNATUR
Gunrid Kjellmark (Jun 24, 2021 15:38 GMT+2)**RAPPORTNUMMER**

2021:00717

ISBN

978-82-14-07633-2

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.9	2021-06-14	Utkast for kommentarer
1.0	2021-06-24	Endelig versjon

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	3
2	Bakgrunn	4
3	Litteraturstudie - Funksjonskrav i andre samfunnsområder og land	5
3.1	Funksjonskrav i andre samfunnsområder.....	5
3.1.1	Funksjonskrav i Bane NORs tekniske regelverk.....	5
3.1.2	Funksjonskrav til flyplassdekker i Avinor.....	6
3.1.3	Funksjonskrav i VA-bransjen.....	6
3.1.4	Funksjonskrav i byggteknisk forskrift	7
3.2	Funksjonskrav i vegbygging i andre land.....	7
3.2.1	Sverige	8
3.2.2	New Zealand	10
4	Funksjonskrav i dagens N200	11
4.1	Generelt	11
4.2	Håndbok N200s kapittel 5 Dimensjonering av vegoverbygning	12
5	Diskusjon	14
6	Funksjonskrav for frostsikring	18
6.1	Dagens krav.....	18
6.2	Funksjonskrav basert på kontrollmålinger.....	18
6.3	Modellering eventuelt med kontrollmåling.....	19
6.3.1	Utfordringer med funksjonskrav til modellert potensiale for telehiv	19
7	Oppsummering og konklusjon	20
7.1	Videre arbeid.....	21
8	Referanser	23

1 Innledning

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

Foreliggende rapport søker å vurdere hvordan N200 [1] kan utvikles til å ha funksjonskrav og beskrivelser, samt en vurdering av eksisterende funksjonskrav. Videre søker rapporten å vurdere konsekvensene av funksjonskrav med muligheter, gevinster og utfordringer. Rapporten er basert på utført litteratursøk, vurderinger av eksisterende beskrivelser i N200 samt gjennomgang av enkelte håndbøker og standarder i andre bransjer. Det er i tillegg gjort undersøkelser knyttet til tilsvarende problemstillinger i andre land.

Med bakgrunn i kravspesifikasjonen for oppdraget er det tatt utgangspunkt i krav tilknyttet frostsikring, i hovedsak N200s kapittel 407, 52 og 62 for å eksemplifisere hvordan normalen kan innrettes til å bli mer funksjonsbasert.

2 Bakgrunn

Håndbok N200 Vegbygging er den grunnleggende tekniske standarden for vegbygging i Norge. I dag er standarden 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 ble gjort tidligere og det er derfor vanskelig å revidere dem.

Fra flere hold er det et ønske om økt bruk av funksjonskrav. Begrunnelse for dette ønsket er at slike krav kan gi større fleksibilitet og i større grad stimulere til innovasjon, utvikling og økt konkurranse om kostnadseffektive løsninger. Funksjonskrav vil kunne gi mulighet til blant annet å ta i bruk alternative materialer og metoder. Det endelige målet er å få bedre utnyttelse av offentlige budsjetter – «mer veg for pengene» - samt bruk av materialer og metoder med redusert klima- og miljøbelastning.

For å kunne vurdere hvordan funksjonskrav til vegbygging kan utformes er det behov for tydelige definisjoner på hva som menes med funksjonskrav. Store norske leksikon definerer funksjonskrav på følgende måte:

"Funksjonskrav, kravspesifisering til komponent, bygningsdel, bygning og lignende med utgangspunkt i de funksjoner som objektet skal tjene. Motsatsen er spesifisering av detaljkrav vedrørende mål, materialbruk, utforming, og så videre." ¹

Nordisk Vejforum (NVF) [2] gir følgende definisjon av funksjonskrav for vegbygging:

"Med funksjonskravet menar man ett krav, som vägarbetets beställare kan ställa på någon av vägens mätbara egenskaper, som påverkar trafikanternas eller samhällets kostnader, körkomfort och drifttid, säkerhet eller miljö."

Statens vegvesen foreslår en tredelt definisjon av funksjonskravbegrepet for arbeidet omhandlet i denne rapporten:

- Funksjonskrav som beskriver overordnet funksjon (på nivå med etatens fem transportpolitiske mål).
- Funksjonskrav som beskriver overordnet formål eller oppgave som skal oppfylles i den ferdige løsningen (kvalitative krav som beskrives med ord).
- Funksjonsbaserte ytelseskrav (målbar ytelse med begrunnelse (kvantitative krav)).

Videre beskriver Statens vegvesen hva som kjennetegner det de kaller tjenlige krav til vegbygging:

1. De skal bidra til at eksterne krav (lov-/forskriftskrav, krav i standarder) oppfylles, herunder også miljølovgivning med tanke på innhold av farlige forbindelser.
2. De skal bidra til at vegens ønskede funksjon ivaretas.
3. De skal være målbare, og helst på en så praktisk og økonomisk måte som mulig, inkl. at måleresultatene må framkomme innen rimelig tid.
4. De skal bidra til god vegøkonomi i et livsløpsperspektiv («mer for pengene»).
5. De skal bidra til et godt miljøregnskap i et livsløpsperspektiv.
6. De skal ivareta gjennomførbarhet og bør ivareta bransjestandard.

¹ <https://snl.no/funksjonskrav>

3 Litteraturstudie - Funksjonskrav i andre samfunnsområder og land

3.1 Funksjonskrav i andre samfunnsområder

3.1.1 Funksjonskrav i Bane NORs tekniske regelverk

Bane NOR beskriver sine krav i Teknisk regelverk, som skal være «*Bane NORs samling av tilstrekkelige og nødvendige tekniske regler for bygging, prosjektering og vedlikehold av jernbaneinfrastrukturen på det nasjonale jernbanenettet slik at den tilfredsstillter Bane NORs mål med hensyn på tilgjengelighet, sikkerhet, kostnadseffektivitet og kapasitet*».

Teknisk regelverk inneholder blant annet regler for underbygning/ prosjektering og bygging/ banelegemet [3]. Dette kapitlet omhandler prosjektering og bygging av banelegemet, noe som omfatter jernbanens underbygning inkludert fyllinger, skjæringer samt tilhørende konstruksjoner. Innledningsvis er det beskrevet at underbygningen skal ha følgende funksjoner:

- *Være et bæredyktig, stabilt og jevnt elastisk fundament egnet til å oppta de krefter og motstå de langtidseroderende effekter som banen kan være utsatt for i dens økonomiske levetid.*
- *Hindre nedtrengning av frost til telefarlig masse under underbygningen.*
- *Lede vekk vann fra nedbør og sideterreng.*

Videre i Teknisk regelverk er det stedvis gitt ganske tydelige føringer på hvordan eksempelvis frostsikringslaget skal opparbeides.

Generelt er bruken av funksjonskrav i Teknisk regelverk noe varierende, men det finnes eksempler på funksjonskrav, som i kapitlet om tunneler, Portaler og vannsikring [4]. Her er det blant annet beskrevet følgende:

- *"Vannsikringen skal sikre at det unngås direkte drypp, rennende vann og isdannelse som kan treffe jernbanetekniske installasjoner" (TRV:00145, [4]).*
- *"Vannlekkasjer skal føres frostsikkert ned i dreneringssystemet" (TRV:00146, [4]).*

Teknisk regelverk inneholder også mer konkrete krav, eksempelvis i form av krav til fiberduk for kontaktstøp og utjevningsslag for sprøytbar membran (vannsikring i tunneler):

- *"b) Beskyttelsesduk: Krav til beskyttelsesduk skal være iht. NS-EN 13256 og relaterte standarder. Duken skal ha en flatevekt på 1200 g/m². Hastighetsindeks VI50 for permeabilitet normalt på planet uten last skal være minimum 1x10⁻⁴m/s. Minimum strekkstyrke skal være minimum 30 kN/m" (TRV:00156, [4]).*
- *"a) Materialer: 1) Materialer: Det stilles ikke krav til tidligfasthet eller seighetsegenskaper til utjevningbetongen. Utjevningbetongen må imidlertid tilfredsstillte krav til sluttfasthet og tetthet/porøsitet/bestandighet identisk med bergsikringsprøytebetongen. For øvrige krav gjelder Statens vegvesens håndbok R761 prosess 33.4. og 2) Materialer: Det skal benyttes fint tilslag med D_{max} < 4 mm. Dette for å kunne oppnå tilstrekkelig ruhet i henhold til leverandørens anvisning" (TRV00157, [4]).*

Som kort beskrevet her, inneholder altså Bane NORs tekniske regelverk en kombinasjon av funksjonskrav og spesifikke krav. Bane NOR uttrykker selv at denne kombinasjonen av funksjonskrav og spesifikke krav forhåpentligvis gir tilstrekkelig og nødvendige tekniske regler, men at dette hele tiden er en avveining.

3.1.2 Funksjonskrav til flyplassdekker i Avinor

Avinor har strenge krav til asfaltdekker på rullebaner og taxebaner, og vil ofte kreve at det legges prøvedekker før entreprenøren får slippe til på selve flyplassen. Det er også veldig tett oppfølging av hulrom, skjøter og andre inhomogeniteter.

I Avinors håndbok for rehabilitering og vedlikehold av flyplassdekker [5] er det beskrevet flere momenter rundt funksjon og funksjonskrav. I forbindelse med dimensjonering og frostsikring av bærekonstruksjonen er det på generell basis beskrevet at "*bærekonstruksjonens primære oppgave og funksjon er å oppta trafikklastene og fordele disse nedover i bærekonstruksjonen slik at ingen av lagene i konstruksjonen eller undergrunnen blir overbelastet i forhold til deres bæreevne*". Videre er det beskrevet at "*Dette kravet må oppfylles for at bærekonstruksjonen ikke skal bli utsatt for laster som medfører setninger eller varige deformasjoner. Dette gjelder så vel for fly i bevegelse som i oppstilling*". Det er også angitt at den samlede konstruksjonen må motstå lokale frostpåkjenninger.

Kort oppsummert skal et flyplassdekke tilfredsstillende følgende krav:

- Styrke eller bæreevne (til å tåle de flyene som belaster dekket uten å gi deformasjoner eller andre skader).
- Jevnhet (som gjør det sikkert å lande og kjøre på dekket).
- Friksjon (som sikrer sikker landing og oppbremsing).
- Fallforhold (som sikrer avrenning).

Det er videre i håndboka angitt nærmere detaljer om disse forholdene, eksempelvis i form av krav til materialer (deriblant krav til blant annet flisighetsindeks, Los Angeles-verdi, mølleverdi og knusningsgrad) samt krav til utførelse og kontroll. Håndboka angir at en kontinuerlig kontroll av arbeidet er viktig for det endelige sluttresultatet. Et slikt kontrollarbeid kan deles i følgende delaktiviteter; 1) Kontroll av resept (byggherre), 2) Oppstartskontroll (entreprenør), 3) Driftskontroll (entreprenør) og 4) Kontroll under produksjon (byggherre).

Eksempelvis er det beskrevet at asfaltmassen skal kontrolleres i henhold til funksjonskrav, noe som omfatter følgende:

- Stivhet/E-modul (indirekte strekk eller NAT (Nottingham Asphalt Tester)).
- Deformasjonsegenskaper (wheel-track).
- Bestandighet/Cantabro (gjelder hvor slike tilleggskrav er stilt for dekket på avisningsplattform).

Den strenge praktiseringen av kravene fører relativt ofte til at entreprenørene må legge nye dekker for egen regning. Dette er så vidt vanlig at konkurransen om denne type oppdrag er litt mindre og at prisene går opp.

3.1.3 Funksjonskrav i VA-bransjen

I vann-bransjen finnes en rekke funksjonskrav i gjeldende lover og forskrifter, eksempelvis i drikkevannsforskriften og forurensningsforskriften. Det finnes også eksempler på funksjonskrav ved etablering av VA-anlegg; "Anlegget skal være tilrettelagt for drift og vedlikehold" ([6] §15-8,4b) og "Anlegget skal tåle belastning og kjemisk påvirkning" ([6] § 15-8, 4d). I tillegg er det gitt en rekke funksjonskrav i internasjonale og nasjonale standarder og VA-normer.

Norsk Vanns² vannstandard³ har som mål å komme med anbefalinger til funksjonskrav. Disse funksjonskravene kan ledningseierne velge å stille ved etablering av sine anlegg. I forbindelse med arbeidet

² Den nasjonale interesseorganisasjonen for vannbransjen, eies av blant annet norske kommuner.

³ Vannstandarden skal på sikt erstatte dagens VA-norm fra Norsk Vann.

med ny vannstandard har det også vært diskutert og vurdert hva som bør være de gode funksjonskravene i framtiden for ledningsanlegg som kommunene skal eie.

Ifølge en rørprodusent opplever de ikke særlig mye bruk av funksjonskrav i anbud. I forbindelse med totalentrepriser opplever rørprodusentene at entreprenørene får anleggene detaljprosjektert etter at en byggherre eksempelvis kan ha bestilt et produkt som skal oppfylle visse funksjonskrav. Rørprodusentene har også fått spørsmål fra konsulenter om ulike produkter oppfyller funksjonskrav. Generelt har de fleste i VA-bransjen en klar formening om hva de vil ha, og de ønsker ikke å risikere at andre tar "feil" valg.

3.1.4 Funksjonskrav i byggteknisk forskrift

Byggteknisk forskrift (TEK17) [6] setter krav til det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge. Forskriften setter krav i form av funksjonskrav, men mange av kravene er også fortolket og gitt som ytelseskrav i forskriften. Dette gjelder for eksempel krav knyttet til tilgjengelig boenhet. I tillegg finnes det en veiledning til forskriften, og her er flere krav fortolket og gitt som ytelseskrav. Dette gjelder for eksempel i stor grad krav til sikkerhet ved brann.

Byggteknisk forskrift gjennomgikk en hovedendring i 1997 (TEK 97) med betydelig dreining mot funksjonskrav og med et større offentligrettslig ansvar på bransjens aktører. Hensikten med å innføre funksjonskrav i TEK 97 var å gjøre forskriften mer anvendbar og mindre avhengig av teknisk utvikling, samt gi muligheter til innovasjon, utvikling og nye metoder. Byggreglene var også før 1997 til dels søkt utformet som funksjonskrav. [7] Dreining mot funksjonskrav har vært en utvikling innenfor byggområdet som startet i Norden allerede på 1970-tallet [8]. I en artikkel fra 1969 [9] presenterte det som den gang het Norges byggforskningsinstitutt sitt forskningsarbeid med funksjonskrav for byggeindustrien. Her diskuteres behovet og mulig bruk av funksjonskrav. Aspekter knyttet til hensikt, fordeler og utfordringer ved funksjonskrav som trekkes fram her er gjenkjennbare med de aspekter som knytter seg til funksjonskrav for vegbygging.

I en rapport fra 2019 evaluerte Multiconsult de funksjonsbaserte reglene i perioden 1997 til 2017 [7]. Hovedkonklusjonen er at de funksjonsbaserte reglene har ført til innovasjon og utvikling på noen områder slik som brannområdet, og med økt bruk av tre har dette bidratt til bedre tilpasning til klimautfordringene. Videre er erfaringene at det på enkelte områder i perioden 1997 – 2017 har vært en tendens mot økende grad av ytelseskrav, f.eks. når det gjelder tilgjengelighet og universell utforming og hvordan inngangsparametere i energiberegninger angis.

3.2 Funksjonskrav i vegbygging i andre land

Gjennom litteratursøket finner man at funksjonskrav for vegbygging er diskutert, utprøvd og evaluert i flere andre land. Blant annet i Sverige, UK, New Zealand, og enkelte provinser i Canada. Det finnes litteratur som diskuterer både tekniske, økonomiske og kontraktsmessige aspekter rundt funksjonskrav.. Hvorvidt erfaringene fra andre land er relevante for utvikling av norske funksjonskrav vil avhenge av flere forhold og parametere slik som om klima, trafikk og type vegbyggingsmaterialer som er tilgjengelig. Blant annet vil klimatiske forhold være viktig for om kravene til vegbygging må hensynta frostproblematikk. I dette arbeidet er det valgt å fokusere på erfaringene fra Sverige og New Zealand.

Nordisk vejforbund [10] sammenstilte i 2002 funksjonelle krav og erfaringer med kontrakter basert på funksjonskrav i de nordiske land. Sammenstillingen viste at det på dette tidspunktet var varierende grad med bruk av funksjonskrav i de nordiske landene. I Norge og Danmark var det forsøkt funksjonskrav i forbindelse med dekkevedlikehold, men i mindre eller ingen grad brukt funksjonskrav ved nybygging av veg, mens det i Sverige på dette tidspunktet var det forsøkt brukt funksjonskrav både ved dekkevedlikehold og nybygging av veg.

3.2.1 Sverige

I Sverige er det gjennom flere tiår utgitt ulike rapporter og artikler knyttet til funksjonskrav i vegbygging. I en artikkel fra 2002 [11] diskuterer Said og Huvstig krav til mekaniske materialegenskaper for vegbyggingsmaterialer og hvordan disse kan kobles mot funksjonelle egenskaper til vegen. I diskusjonen skiller de mellom:

- Funksjonskrav: Krav som beskriver funksjonen til det ferdige produktet over en tid. For veger vil dette typiske være krav til de fysiske egenskapene til vegoverflaten, hvordan vegoverflaten påvirkes av laster eller mengden akkumulert trafikk som skal til for å gi en tilstand til vegdekke definert som brudd.
- Funksjonsbaserte krav: Krav som beskriver ønsket nivå på fundamentale materialegenskaper som predikerer funksjonelle egenskaper og som inngår i beregninger for funksjonelle egenskaper.
- Funksjonsrelaterte krav: Krav som beskriver ønsket nivå på materialer og som har vist seg å korrelere med fundamentale materialegenskaper som er bestemmende for funksjonsegenskapene.

I de svenske kravene til vegbygging fra 2001 var det to ulike former for krav, enten empiriske detaljerte krav eller krav ut fra funksjon. De empiriske kravene kan ses på som funksjonsrelaterte krav. Kravene ut fra funksjon kan ses på som en kombinasjon av funksjon og funksjonsbaserte krav. Det er gitt tre ulike nivåer på krav, og hvilket nivå av krav som brukes kan avgjøres i kontrakten mellom byggherre og entreprenør. Nivåene det settes krav til er:

1. Asfaltlag (piggdekkslitasje, sporutvikling pga. deformasjon, fleksibilitet, stivhet, utmatting, vannfølsomhet og permeabilitet)
2. Asfalt mix (piggdekkslitasje, sporutvikling pga. deformasjon, vannfølsomhet)
3. Overflateegenskaper (friksjon, jevnhet, tverfall, tekstur, støy og homogenitet)

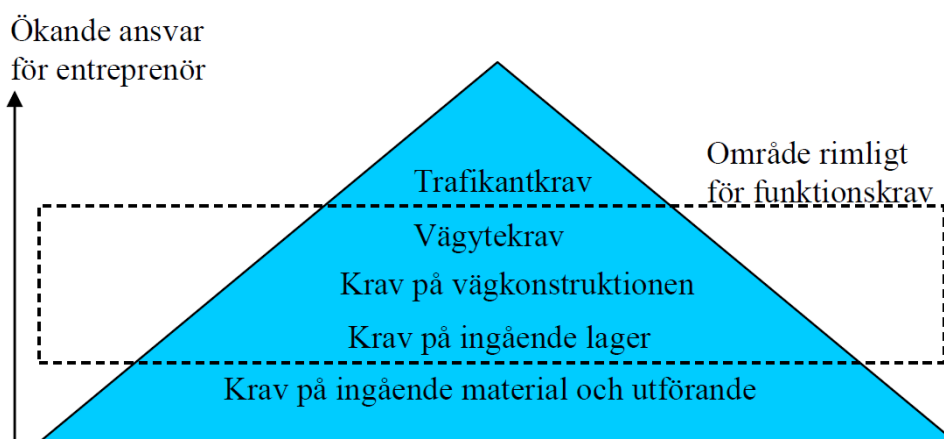
I 2006 sammenfattet Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) [12] kunnskapsstatus og erfaringer med bruk av funksjonskontrakter i en rapport. Hovedkonklusjonen i rapporten er at det finnes mye erfaring internasjonalt med kontraktsformen, men den gangen fortsatt få svenske eksempler. Videre at det i Sverige var mye kunnskap på området med direkte relevans for utvikling av funksjonskontrakter, men at kunnskapen måtte systematiseres og dokumenteres. Rapporten fra VTI består av fire deler. Hvorav del 1 er en generell diskusjon rundt funksjonskontrakt. Del 2 omhandler funksjonelle egenskaper for vegoverflaten (vägytor), mål og målemetoder. Del 3 ser på kunnskap om sammenheng mellom teknisk nybygd standard og framtidige driftskostnader. Del 4 oppsummer svenske erfaringer med funksjonskrav. Det er verdt å merke seg at denne rapporten beskriver en ganske snever og streng definisjon av funksjon for en vegkonstruksjon. Her oppfattes funksjon som enten egenskaper som beskriver vegoverflaten eller som trafikanteffekter som følge av vegoverflatens tilstand. Figuren på neste side viser sammenheng mellom funksjonell og teknisk tilstand og hva som da defineres som funksjonskrav.



Figur 3-1: Sammenheng mellom funksjonell og teknisk tilstand [12].

Rapporten fra VTI viser at det i Sverige i 2006 var et godt stykke unna full implementering med funksjonskrav kombinert med totalentrepriser.

NCC Sverige og SBUF (Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond) [13] utga i 2010 en rapport fra en forstudie om funksjonskriterier for vegkonstruksjoner. Rapporten ser på funksjonskrav i sammenheng med bruken av totalentrepriser. Hensikten med forstudien var å se på hvilke krav som bør stilles for en vegkonstruksjon ved totalentreprise. Av rapporten framgår at bruken og erfaringene med totalentrepriser med funksjonsansvar er noe begrenset. Vägverket (nå Trafikverket) forsøkte dette i små og store prosjekt i en periode først på 1990-tallet, for så å ta dette opp igjen i perioden 2001-2004. Rapporten diskuterer også hva som menes med funksjonskrav og sammenhengen mellom ulike kravnivå og entreprenørens risiko.



Figur 3-2: Sammenheng mellom kravnivå og ansvar og risiko for entreprenør [13].

Krav på samfunnsnivå eller trafikantnivå slik som framkommelighet, sikkerhet, miljø, helse mv. anses ikke som mulig fordi det formelt ikke bør delegeres fra en vegeier (myndighet) til en entreprenør. Dessuten vil slike krav være teknisk vanskelige å måle og følge opp. Rapporten konkluderer med at det er behov for videre arbeid på en rekke områder for å utvikle og fremme bruken av totalentrepriser og funksjonskrav. Det handler blant om å etablere en omforent terminologi for å unngå misforståelser i kontraktsammenheng, se grundigere på erfaringer fra tidligere prosjekter basert på funksjonskrav og tydeliggjøre og analysere sammenheng mellom teknisk tilstand og samfunns effekter (trafikantkrav). Videre pekes det på et behov for å utvikle krav som i større grad tar hensyn til miljø. Generelt må funksjonskravene utvikles mht. nivå, konsekvenser av krav og konsekvenser hvis krav ikke oppfylles. Det

må utvikles nye mål og målemetoder. Videre utviklingsarbeid bør skje i samarbeid mellom Trafikverket og bransjen.

3.2.2 New Zealand

I New Zealand har det i vegbygging blitt utviklet funksjonsbaserte krav og gjennomført flere pilotprosjekter. Pidwerbesky et. al. [14] presenterte en gjennomgang av de funksjonsbaserte kravene til Transit New Zealand, en diskusjon rundt beste praksis, samt erfaringer fra to prosjekter med funksjonsbaserte krav. De funksjonsbaserte kravene setter krav til vegens funksjon (slik som spordybde, jevnhet mv.) ved utløp av garantiperioden (typisk 1 til 3 år etter åpning). I tillegg til de funksjonsbaserte kravene er det utarbeidet en veileder med retningslinjer til hvordan entreprenører kan dokumentere at materialene har tilstrekkelig styrke og holdbarhet for dimensjonerende levetid (design life). Disse retningslinjene er ikke obligatoriske å følge, og annen type dokumentasjon kan være tilstrekkelig. De funksjonsbaserte kravene inneholder også beskrivelser av prosedyrer og sjekkpunkter både i prosjektering- og byggefasen for å sikre at vegkonstruksjonen tilfredsstillert tiltenkt funksjon. Pidwersbesky et. al. hevder at den største risikoen knyttet til funksjonskrav, i form av krav til vegoverflaten, er at metodene som i dag finnes for å beregne eller forutsi hvordan et materiale eller en konstruksjon opptrer i felt er utilstrekkelige. Metoder eller prosedyrer for å forutsi hvordan materialer opptrer i felt har særlig mangler med hensyn til resirkulerte materialer eller andre marginale materialer. Erfaringene fra pilotprosjektene viser at funksjonskrav krever at entreprenørene har tilgang til vegteknologer med høy kompetanse for å kunne prosjektere vegkonstruksjoner enten i egen organisasjon eller hos konsulenter. Likeledes trengs det vegteknologer med høy kompetanse hos byggherre for å vurdere prosjekteringen som utført av entreprenører.

Pidwerbesky og Alabaster [15] presenterte i 2015 en oppfølging av de to pilotprosjektene gjennomført i 2002 i regi av New Zealand Transport Agency (tidligere Transit New Zealand). Basert på måling av funksjonskravene slik som jevnhet og spor er konklusjonen at disse pilotprosjektene har vært vellykket, bygget med god kvalitet og at bygging i større grad har vært miljømessig bærekraftig.

4 Funksjonskrav i dagens N200

4.1 Generelt

En del av oppdraget har vært å foreta en vurdering av eksisterende funksjonsbaserte krav i håndbok N200 [1] (2018-utgaven). I dagens N200 finnes det flere funksjonsbaserte krav, dette omfatter både krav som er beskrevet som funksjonskrav, men det finnes også eksempler på krav som er utformet som funksjonskrav uten å spesifikt være benevnt som det.

I overordnet del, kapittel 112, sier N200 at alle objekter beskrevet i håndboka har tekniske standardkrav. I tillegg er det for noen av objektene angitt funksjonskrav slik som blant annet levetid, tilstandsutvikling og bruksegenskaper. Videre er det beskrevet at *"der kravene i N200 er funksjonsrettede kan vegmyndighetene gjennom særskilte avtaler ved kontraktsinngåelse, gi åpning for at kun funksjonskravene benyttes. Gjennom slike avtaler vil de tekniske standardkravene kun være veiledende"*.

Det er videre i N200 beskrevet at det forutsettes at *"objektene sikres den tilsiktede funksjon"*, noe som innebærer at løsningene tilfredsstiller kravene til vegnettet med hensyn til samfunnsøkonomiske, miljømessige, sikkerhetsmessige og beredskapsmessige forhold. Håndboka beskriver også at løsningene skal *"dokumenteres på en slik måte at det er sannsynliggjort at ovennevnte forhold er tilfredsstilt"*. Videre er det beskrevet at objektene funksjon eksempelvis kan oppnås gjennom mekanismer i kontraktene for bygging, drift og vedlikehold uten at de tekniske standardkravene i normalen er oppfylt. Denne typen kontraktsmekanismer kan for eksempel omfatte at ansvaret for bygging blir kombinert med ansvaret for drift og vedlikehold i en periode som dekker forventet levetid. Dette er eksempelvis vanlig i totalentrepriser, hvor entreprenøren selv har ansvaret for prosjektering.

Det er flere steder i N200 beskrevet funksjonskrav, blant annet i kapittel 2 Underbygning og grunnforhold, kapittel 4 Vannhåndtering og i størst grad i kapittel 7 Vegutstyr og miljøtiltak. Et utvalg av objekter/kapitler med krav benevnt som funksjonskrav er listet opp nedenfor. Det gjøres oppmerksom på at listen ikke er uttømmende.

- Skråninger og skjæringer i berg (Kap. 221)
- Vannhåndtering (kap. 4)
 - Overordnet (kap. 403.1 og 403.25)
 - Rensetiltak (kap. 403.44)
 - Stikkrenner (kap. 453.21 og 453.31).
- Vegutstyr og miljøtiltak (kap. 7)
 - Murer av naturstein, betong og gabioner (kap. 712.3)
 - Armert jord (kap. 713.3)
 - Støyskjermer og voller (kap. 722.3)
 - Lokale skjærmer (kap. 723.2)
 - Fasadeisolering mot støy (kap. 724.3)
 - Serviceanlegg (kap. 732.3)
 - Utlegging av jord (kap. 742.3)
 - Grasdekker, naturlig revegetering og engvegetasjon (kap. 743.3)
 - Plantefelt (kap. 744.3)
 - Kantstein, rekkverk, gjerder og faunapassasjer (kap. 75)
 - Kantstein (kap. 751.2)
 - Trafikkregulering og belysning (kap. 76)
 - Signalanlegg (kap. 761.3 og 761.8)
 - Trafikkregistreringsstasjoner (kap. 763.3)

En vurdering av disse kravene anses som mindre relevante med hensyn på å godt belyste problemstillinger knyttet til funksjonskrav for vegbygging (muligheter, gevinster og utfordringer). Det er i tillegg beskrevet såkalte tekniske spesifikasjoner flere steder, eksempelvis for viltgjerd i kapittel 754.1. En vurdering av disse er heller ikke beskrevet nærmere i denne rapporten.

4.2 Håndbok N200s kapittel 5 Dimensjonering av vegoverbygning

Som beskrevet innledningsvis har foreliggende rapport fokus på vegbygging og frostsikring. I oppstartsmøte med SVV ble det også pekt på kapittel 5 Dimensjonering av vegoverbygning i N200 [1] som anses som det mest relevante kapitlet i forhold til dette oppdraget.

Det er gjennomført en gjennomlesing og vurdering av kapittel 5 i håndbok N200, men det er funnet få konkrete krav som tilfredsstillende særlig siste kulepunkt på definisjon av krav til funksjonskrav beskrevet i kapittel 2, det vil si "*funksjonsbaserte ytelseskrav (målbar ytelse med begrunnelse (kvantitative krav)*". Ordet funksjonskrav er ikke nevnt i det hele tatt i kapittel 5.

Innledningsvis i kapittel 510 Krav til overbygning er det blant annet beskrevet at "*overbygningen skal fordele laster fra trafikken til undergrunnen slik at det ikke oppstår skadelige eller uakseptable deformasjoner*" og "*overbygningen skal ha tilstrekkelig bæreevne hele året*". Dette kan vel i utgangspunktet ses på som funksjonskrav, men her er altså ikke begrepet funksjonskrav benyttet.

I det videre er det angitt at dokumentasjon av utført dimensjonering som et minimum skal inneholde dimensjoneringsforutsetningene, deriblant utførte grunnundersøkelser, årsdøgntrafikk og aktuelle materialer for overbygningen, samt dimensjonering for de ulike vegene, deriblant dimensjoneringsmetode, materialer og lagtykkelser samt spesielle løsninger/forhold. Dette er beskrevet i form av ulike krav, både til materialer, utførelse og kontrollomfang, men det sier ingen ting om funksjon selv om kravene åpenbart er motivert ut fra og knyttet til funksjon.

Et annet eksempel som kan nevnes er kapittel 534 Dimensjonering med laboratoriebestemte lastfordelingskoeffisienter. Håndboka beskriver at dette er mest aktuelt i situasjoner hvor det er ønskelig å utnytte den lastfordelende evnen og styrken til de tilgjengelige materialene i større grad enn det som er mulig ved standardiserte lastfordelingskoeffisienter angitt i N200. Videre er det blant annet beskrevet at "*det bør foretas en separat vurdering av overbygningstykkelsene i forhold til dimensjonering basert på standardiserte lastfordelingskoeffisienter*" og "*ved større avvik bør lagtykkelsene vurderes særskilt*". Laboratoriebestemte lastkoeffisienter er imidlertid lite brukt og siden det bare tas hensyn til materialenes elastiske stivhet gir det i liten grad fleksibilitet.

I N200s kapittel 56 Gang- og sykkelveg er det beskrevet at "*gang- og sykkelveger skal tåle belastningen fra drift- og vedlikeholdsutstyr og sporadisk trafikk av utrykningskjøretøy, renovasjonsbiler o.l.*". Videre er det beskrevet at "*Dimensjoneringen skal gi tilstrekkelig bæreevne i teleløsningen*". Dette suppleres ved at det henvises til regler i kapittel 52 Frostsikring, hvor det gis nærmere beskrivelser av type masser og lagtykkelser. Også dette kan til en viss grad ses på som et mulig funksjonskrav, uten at dette er beskrevet spesifikt.

Som beskrevet innledningsvis i dette kapitlet er ikke ordet funksjonskrav nevnt en eneste gang i håndbok N200s kapittel 5 Dimensjonering av vegoverbygning. Det er gitt enkelte beskrivelser av hva vegoverbygningen skal tåle, noe som kan tolkes som mulige funksjonskrav, men det er i tillegg henvisning til ulike krav og beskrivelser. N200 generelt, og kapittel 5 spesielt, framstår i dag nærmest som en kokebok med oppskrift på hvordan man skal prosjektere en veg. Dette omfatter blant annet krav og beskrivelser til hvilke type materialer som skal benyttes, hvilke egenskaper disse materialene skal ha, krav til prøveomfang

og hvordan dimensjonering og utførelse skal gjennomføres. Beskrivelsene framstår derfor mer som gode ønsker for hva vegoverbygningen skal kunne tåle.

Slik dagens håndbok N200 er bygget opp, er den et forsøk på å beskrive og løse utfordringer på en enkel måte. Dette har gitt ei håndbok med detaljerte beskrivelser av hvordan en vegoppbygging skal utføres. I utgangspunktet er dette positivt, da det gir tydelige føringer for hvordan dimensjonering og bygging skal gjennomføres. På den andre siden gir dette også et nokså rigid system som i liten grad gir åpning for å differensiere på ulike typer masser og ulike type veger.

Et eksempel som kan nevnes i denne sammenheng er mekaniske krav som stilles til masser for bruk i ulike deler av vegkonstruksjonen. For materialer til bruk i bærelag stilles det blant annet krav om Los Angeles-verdi ≤ 35 . Men hva er egentlig den reelle forskjellen på masser med LA-verdi 35 sammenlignet med masser som har LA-verdi 36? Naturlig nok må grensen settes et sted når beskrivelsene er utformet på denne måten, men det gir også svært lite handlingsrom i tilfeller hvor man har masser som akkurat ikke tilfredsstiller kravene.

I slike tilfeller kan man med dagens N200 ende opp med å måtte deponere lokale masser som kunne vært brukt, men som ligger akkurat utenfor kravene som stilles. Dette medfører også at masser med kvalitet tilsvarende krav som stilles må transporteres over lengre avstander. Dette ble blant annet belyst gjennom FoU-prosjektet Kortreist stein [16], hvor det ble sett nærmere på ulike momenter knyttet til bruk av lokale masser. I dette prosjektet ble det blant annet gjort vurderinger av hvilke muligheter som ligger i bruk av lokale masser, gjennom besparelser både i økonomi, miljøutslipp og ressursuttak. Kortreist stein og bruk av lokale masser er derfor en av de viktigste motivasjonene for å endre N200 til å bli mer funksjonsbasert. Gjennom i større grad å kunne stille krav til funksjon framfor krav til eksempelvis mekaniske egenskaper hos massene, vil det gis et mulighetsrom for i større grad å kunne bruke lokale masser. Det vises til kapittel 5 for en nærmere diskusjon rundt funksjonskrav.

5 Diskusjon

Funksjonskrav har i flere år vært diskutert i forbindelse med Statens vegvesen sine håndbøker. Fordeler og mulige gevinster ved funksjonskrav er åpenbare, men det er likefult krevende å finne gode og relevante funksjonskrav som er konkrete, målbare, som ivaretar ulike hensyn knyttet til vegbygging (ref. tjenlige krav til vegbygging) og som er mulig å følge opp og håndheve i levetiden som vegen er dimensjonert for.

Et viktig utgangspunkt for diskusjon rundt funksjonskrav i håndbok N200 er den formelle statusen som dokumentet har og hvem som er forpliktet av kravene i håndboken. Diskusjonen om funksjonskrav kan fort bli en diskusjon rundt kontraktstrategi og kontraktskrav mellom entreprenørbransjen og en konkret byggherre, eksempelvis Statens vegvesen. Det er viktig å legge til grunn at N200 er en teknisk forskrift som i utgangspunktet gjelder for flere ulike byggherrer og at den innehar krav som treffer både entreprenører og produsenter. Det kan være svært ulike bransjeaktører med hensyn til størrelse og kompetanse som deltar i vegbyggingsprosjekter, hvor prosjektene også er svært forskjellige med hensyn til størrelse og kompleksitet. I så måte kan håndbok N200 [1] sammenlignes med Byggteknisk forskrift (Tek 17) [6] som gjelder for byggebransjen der man har mange aktører og prosjekter med stor diversitet. Det er dermed nødvendig å løfte og frigjøre diskusjonen fra kun å gjelde kontraktstrategi og kontraktskrav for Statens vegvesen. En teknisk forskrift som N200 må, i samspill med veiledninger og andre hjelpemidler, kunne fungere for alle typer av bransjeaktører den omfatter, små eller store, og for ulike prosjekter og kontraktstrategier.

Det er i foreliggende rapport diskutert flere aspekter knyttet til funksjonskrav:

- Funksjonskrav i normal/forskrift eller i kontrakt?
- Nivå og type funksjonskrav.
- Byggeprosessen.
- Kontraktsammenheng.
- Kunnskap- og metodestatus (forskningsfront).
- Kompetanse og kapasitet i bransjen.

Listen er ikke uttømmende, men disse punktene vurderes som de mest relevante. Det er i det videre gitt en nærmere beskrivelse av disse.

Funksjonskrav i kontrakt eller i normal/forskrift?

Et av spørsmålene i dette oppdraget går ut på å vurdere hvorvidt eventuelle funksjonskrav bør stilles i normalen eller i kontrakt. Det vil være vanskelig å tenke seg muligheter for ulike byggherrer å stille funksjonskrav i kontrakt hvis ikke normalen er basert på funksjonskrav. I så fall må den enkelte byggherre utlede funksjonsbaserte krav med basis i detaljerte krav til materialer og utførelse, noe som ville være svært uhensiktsmessig og i liten grad gir sikkerhet for gode og enhetlige krav.

Det er åpenbart at for å kunne tenke seg funksjonskrav i kontrakter så krever dette at forskriften har funksjonskrav og gir åpning for å bruke dette. Derimot er det ikke slik at funksjonskrav i forskrift automatisk betyr at alle vegbyggingskontrakter må baseres på funksjonskrav. Her er det naturlig å trekke paralleller til byggebransjen. Byggteknisk forskrift [6] består i stor grad av funksjonskrav, men det betyr ikke at alle kontrakter baseres på disse kravene eller at detaljprosjektering i alle prosjekter skjer av den enkelt byggherre eller entreprenør.

Byggebransjen har løst dette ved at det finnes ferdigprosjekterte løsninger i veiledninger gjennom byggdetaljblad og lignende, eller at produsenter og leverandører har tilgjengelig prosjekteringstjenester for bransjen. Dette ivaretar mindre bransjeaktører og behov i små prosjekter og ivaretar rene utførelsesentrepriser. En annen mulighet er at N200 innehar både funksjonskrav og detaljerte krav,

eksempelvis som veiledningsstoff, og på den måten ivaretar ulike behov i bransjen. En slik løsning vil til en viss grad være krevende for de som utarbeider teknisk forskrift da det innebærer at detaljerte krav bør oppdateres jevnlig for å følge utvikling i materialer og metoder.

Nivå og type funksjonskrav

Som vist i Statens vegvesen sitt forslag til tredelt definisjon for funksjonskrav (ref. kapittel 2) og i litteratur kan det tenkes funksjonskrav for vegbygging på ulike nivåer. Helt på overordnet nivå kan man se for seg funksjonskrav som krav på samfunnseffekter og trafikkanteffekter på slik som trafikkulykker, framkommelighet og miljø. Statens vegvesen påpeker for dette oppdraget at funksjonskrav på dette nivået ikke anses som aktuelt. Den samme konklusjonen har man gjort i Sverige vedrørende funksjonskrav til vegbygging. Argumentene mot krav på samfunnsnivå går i hovedsak på målbarhet og mulighet for oppfølging. I Sverige er det også argumentert med at det formelt er problematisk å delegere ansvar for overordnede samfunns mål fra en vegmyndighet til en entreprenør. Videre er det viktig å være klar over at det vil være mange parametere som påvirker slike samfunnseffekter utover selve kvaliteten til vegen, og at det dermed i praksis vil være umulig å følge opp og håndheve slike krav. Selv om det eksempelvis påvises statistisk at spordybde og jevnhet på vegen har en sammenheng med trafikkulykker, er dette basert på begrenset data med stor variasjon, slik at tall på strekningsnivå vil framstå som tilfeldige. Dette gjør at slike krav vanskelig kan stilles og håndheves på prosjekt- og strekningsnivå og knyttes kun opp mot vegbygging.

Det neste nivået Statens vegvesen beskriver er funksjonskrav som beskriver overordnet formål eller oppgave som skal oppfylles i den ferdige løsningen og her menes da kvalitative krav som beskrives med ord. Slike krav finner man også i dagens N200 [1]. Eksempelvis beskrives krav til overbygning slik (kapittel 510): "*Overbygningen skal fordele laster fra trafikken til undergrunnen slik at det ikke oppstår skadelige eller uakseptable deformasjoner. Overbygningen skal ha tilstrekkelig bæreevne hele året.*" Det man ofte ser, og som også er beskrevet tidligere i denne rapporten, er at slike kvalitative funksjonskrav er problematiske å måle og følge opp uten nærmere krav å forholde seg til. Som beskrevet i kapittel 3.1 har Bane NOR i sitt tekniske regelverk valgt å ha en kombinasjon av slike funksjonskrav og spesifikke krav.

Dernest beskriver Statens vegvesen et nivå med funksjonsbaserte ytelseskrav (målbar ytelse med begrunnelse (kvantitative krav)).

Av tilgjengelig litteratur ser man at både Sverige og New Zealand har valgt å ha funksjonsbaserte krav på ferdig løsning i form av krav til tilstand på vegoverflaten. Det vil si krav til spor, jevnhet, friksjon, tekstur, støy, tverrfall mv. Dette er krav som beskriver ferdig produkt og løsning, og som har direkte betydning for de samfunnsøkonomiske effektene. Disse kravene kombineres da med dimensjonerende parametere eksempelvis på trafikklast og en garantiperiode eller dimensjonerende levetid på vegen. På mange måter er dette funksjonsbaserte krav i sin enkleste form og som gir stor frihet med hensyn til valg av materialer og løsninger. Samtidig er det utfordringer knyttet til denne formen for krav. Det kanskje mest problematiske er at skader på grunn av mangler i vegbyggingen gjerne oppstår lang tid etter at vegen er bygd. Det betyr at det ofte går lang tid før man ser om valgt løsning virkelig oppfyller kravene. Hvis skader oppstår blir det også et spørsmål om hvilke tiltak som skal gjøres og eventuelle sanksjoner. I verste fall kan man risikere en total rehabilitering av vegen, noe som vil bli svært kostbart. Dette er kanskje det viktigste ankepunktet for funksjonsbaserte krav sammenlignet med krav som kan kontrolleres igjennom byggeprosessen. Videre vil det være andre mer detaljerte utfordringer rundt de enkelte funksjonsbaserte krav, eksempelvis når det gjelder krav til spor. Spor vil kunne oppstå både på grunn av deformasjoner og piggdekkslitasje. Spor på grunn av piggdekkslitasje er nødvendigvis ikke et tegn på mangler ved asfalt eller underliggende lag, men naturlig og akseptabel slitasje som utløser behov for reasfaltering. Det vil ikke alltid være enkelt å påvise og dokumentere hvorvidt spor skyldes uakseptable deformasjoner, uakseptabel eller akseptabel piggdekkslitasje.

Kontraktsammenheng

Bruk av funksjonskrav i kontrakt er et stort tema og det ligger ikke innenfor rammen av dette oppdraget å gå dypt inn i dette temaet. Ønsker og behov for funksjonskrav har blant annet sammenheng med bruken av totalentreprise. På den måten henger funksjonskrav i teknisk forskrift sammen med muligheter og frihet rundt kontraktstrategi for den enkelte byggherre og det enkelte prosjekt. Totalentreprise i kombinasjon med funksjonskrav er kanskje mest aktuelt for større prosjekter, byggherrer og entreprenører. Bruk av funksjonskrav i kontrakt vil ha betydning for blant annet risikofordeling mellom entreprenør og byggherre. Funksjonskrav vil medføre at ansvar og risiko i større grad overføres til entreprenør. Hvordan risiko overføres med funksjonskrav vil være avhengig av det totale regimet rundt kravene, eksempelvis slik som på hvilket nivå funksjonskravene stilles, målemetoder og -regler, sanksjonsregime mv. Som påpekt i rapporten fra SBUF og NCC i Sverige [13] må regimet rundt funksjonskrav utvikles gjennom et samarbeid i bransjen for å blant annet oppnå hensiktsmessig risikofordeling. Det er viktig at en slik risikooverføring ikke kommer uten kostnader. Entreprenøren må beregne en ekstra kostnad knyttet til risikoen og legge den inn i tilbudet.

Som påpekt tidligere må kravene i normalen fungere for kontraktstrategi tilpasset mindre prosjekter og bransjeaktører. Her vises det til byggebransjen og hvordan en byggteknisk forskrift i stor grad basert på funksjonskrav virker sammen med slik som veiledninger og prosjekteringstjenester som bransjen selv tilbyr.

Prosjektering og byggeprosess

I tillegg til nivåene for funksjonskrav nevnt tidligere kan en også i prinsippet stille krav på to ulike måter i prosjektering- eller byggefasen:

- **Funksjonskrav til prosjektert løsning** dokumentert gjennom analyser som viser en akseptabel tilstandsutvikling.
- **Funksjonskrav til ferdig bygget løsning** dokumentert gjennom målinger på konstruksjonen som viser en akseptabel tilstandsutvikling.

Det beste er selvsagt å stille kravene til ferdig bygget løsning, men i flere tilfeller kan det være vanskelig å få til innen rimelig tid siden flere av skadene er knyttet til klimatiske forhold som varierer fra år til år (for eksempel frostmengde, nedbørintensitet mv.).

Funksjonskrav vil ha betydning for fordeling av ansvar og risiko mellom entreprenør og byggherre. Deriblant kan det ha betydning for ansvar for prosjektering og eventuelle muligheter til kontroll i byggefasen. Ved funksjonskrav i form av krav til ferdig løsning, slik som tilstand på vegbane i vegens dimensjonerende levetid, vil det prinsipielt være slik at man ikke vet om valgt løsning innfrir krav før dimensjonerende levetid er nådd. Dette innebærer en risiko både for entreprenør og byggherre. Samtidig kan det tenkes prosesser og regimer i kontraktsammenheng for å reduseres denne risikoen. På New Zealand har man sammen med funksjonskrav for vegbygging utgitt en veileder med metodebeskrivelse for hvordan utførende for prosjektering og bygging kan sannsynliggjøre og dokumentere at valgt løsning vil tilfredsstillende funksjonskravene. Denne veilederen inneholder også prosessbeskrivelser og sjekkpunkter i prosjektering- og byggefase for å kvalitetssikre valgt løsning. Veilederen er valgfri å bruke, men prinsippet er at utførende må sannsynliggjøre og dokumentere overfor byggherre at valgt løsning vil tilfredsstillende krav. Samtidig sier erfaringene fra New Zealand at mangler i kunnskap og metoder gjør at man ikke fullt ut greier å forutsi hvordan materiales og løsninger opptrer i felt. I tillegg understrekes behovet for god kompetanse både hos utførende og byggherre for at et slikt regime skal fungere godt.

Kunnskap- og metodestatus (forskningsfront)

Som påpekt i litteraturen fra New Zealand er det mangler i kunnskap og metoder for å forutsi hvordan materialer og prosjektert løsninger opptrer i felt. Det handler om metoder for å teste materialer i laboratorium for å finne fundamentale materialegenskaper og modeller for å foreta analytisk dimensjonering av vegkroppen. Alternativet til å teste i laboratorium og analytisk dimensjonering vil enten være å bygge fullskala testløsning og simulere ulike belastninger, noe som kan være svært vanskelig eksempelvis knyttet til frostsikring, eller utprøving i felt med den betydelige kostnadsrisiko det innebærer. Begge disse alternativene vil være tid- og kostnadskrevende og inneha risiko. Skal et regime med funksjonskrav fungere godt og stimulere til innovasjon og utvikling er man avhengig av gode metoder med hensyn til laboratorietester og analytisk dimensjonering.

Det ligger ikke innenfor rammen av dette oppdraget å gå nærmere inn i status og behov knyttet til kunnskap og metoder for materialtesting og analytiske metoder.

Statens vegvesen har satt i gang et arbeid med å utvikle et analyseprogram for vegkonstruksjoner sammen med VTI, Trafikverket og NTNU; VegDim. Ambisjonen med dette verktøyet er at en skal kunne forutsi framtidig skadeutvikling for en tenkt konstruksjon. Dette vil være en basis for et nytt dimensjoneringsystem der vi kan tillate alternative konstruksjoner så lenge de viser en akseptabel skadeutvikling. FoU-prosjektet VegDim som Statens vegvesen nå gjennomfører er i så måte svært relevant i sammenheng med det å stille og bruke funksjonskrav i vegbygging.

Innen vegbygging er det varierende i hvilken grad man har kunnskapshull eller metodesvakheter. Det kan ha betydning for hvilke områder man i første omgang bør forsøke å stille funksjonskrav. Frostsikring er kanskje et område der man har kommet lengst og er således aktuell for å teste ut med funksjonskrav. Funksjonskrav til frostsikring er diskutert i kapittel 6.

Kompetanse og kapasitet i bransjen

For at funksjonskrav skal tjene sin hensikt handler det ikke bare om kunnskap innen FoU og test- og analysemetode. Like viktig er kompetanse i bransjen, både hos entreprenører, produsenter, rådgivere og byggherre. Det trengs kompetanse og kapasitet for å drive utviklingen videre. Det trengs i tillegg kompetanse og kapasitet for å teste materialer og for å ta i bruk og vurdere resultatet av metoder for analytisk dimensjonering. I og med at N200 har hatt detaljerte krav for vegbygging har det i mindre grad vært etterspørsel for denne kompetansen eksempelvis i rådgivingsbransjen. Det er videre en kjensgjerning at det er svært liten utdanning av vegteknologer på dette nivået. Bruk av funksjonskrav vil slik SINTEF ser det kreve et løft på kompetanse og kapasitet innen vegteknologi. En slik kompetanseheving vil kunne skje relativt hurtig ved hjelp av etter- og videreutdanningstilbud som eksisterer eller kan utvikles raskt.

6 Funksjonskrav for frostsikring

6.1 Dagens krav

I dag stilles det krav til tykkelse på lagene for å sikre at frosten ikke når ned til telefarlige materialer i grunnen, med en begrensning på 180 og 240 cm avhengig av trafikkmengde og viktighet (hvor mange felt). Selv om dette vil føre til at frosten trenger gjennom, har erfaring vist at man i liten grad får problematiske ujevne hiv ved slik tykkelse.

Dimensjoneringen baserer seg på gjennomsnittlig årsdøgntemperatur i luft og akkumulert frostmengde i luft gjennom vinteren. Frostmengden som benyttes for dimensjonering er gitt som gjentaksintervall. For eksempel er det F100, akkumulert frostmengde i den såkalte hundreårsvinteren, som brukes som grunnlag for de viktigste vegene med størst trafikk. For ÅDT mindre enn 1500 er kravene forholdsvis slakke selv om det dreier seg om en nybygd veg.

For sikring av dreosanlegg benytter en den samme metoden med å regne ut en nødvendig tykkelse basert på beregningen for selve vegen og egenskaper ved dreosanlegget for eksempel diameter på kulvert.

Kravene til frostsikringsmaterialene er ikke veldig strenge, og i praksis avhenger dette av at entreprenørene velger materialer ut fra en funksjonsforståelse slik at det unngås å bruke materialer som har veldig lav mekanisk styrke eller er med stort hulrom. Hvis materialene er for åpne er det en fare for naturlig konveksjon som vil være veldig uheldig for motstand mot frostnedtrengning [17].

Dagens krav tillater i liten grad at en utnytter isolasjonsevnen i materialer som skumglass eller lettklinker. Mer bruk av funksjonskrav vil kunne åpne for tynnere konstruksjoner der det er aktuelt å isolere med denne typen materialer.

I noen land med sammenlignbart klima (Canada, Sverige mv.) er det tillatt med en viss mengde telehiv avhengig av vegklasse, hastighet og trafikkmengde. Dette gir ikke så store forskjeller i telehiv for de høytrafikkerte vegene, men for lavtrafikkerte veger vil en slik tilnærming være bedre enn det norske systemet. Med dagens norske system kan en risikere svært problematiske telehiv for veger med ÅDT < 1500 som kunne vært unngått om vegene var dimensjoner med en grenseverdi.

6.2 Funksjonskrav basert på kontrollmålinger

En metode for å introdusere funksjonskrav kunne være å ha en standardisert metode for å måle telehiv på en vegkonstruksjon, enten kontinuerlig eller på et tidspunkt på våren. Hvis telehivet er over en viss størrelse ville man kunne kreve erstatning fra den som er ansvarlig for dimensjonering og/eller utførelse. Imidlertid er dette en forholdsvis upraktisk metode siden størrelsen på telehiv i så stor grad er direkte avhengig av årlige variasjoner i vær.

Kun en liten endring i temperaturforholdene kan være forskjell på ingen og betydelig telehiv. Det er bare i etterkant av en dimensjonerende vinter, for eksempel F100, man kan konkludere om kravene har blitt oppfylt eller ikke. Dette vil i praksis bety at et slik oppgjør vil føre til en lang og usikker periode før endelig oppgjør kan finne sted.

Det konkluderes derfor med at en slik måte å stille funksjonskrav ikke vil fungere i praksis.

6.3 Modellering eventuelt med kontrollmåling

Det er lagt ned en betydelig innsats for å undersøke hvordan temperaturen i en vegkonstruksjon utvikler seg gjennom en vinter. Blant annet gjennom det nylig gjennomførte FROST-prosjektet [18] i samarbeid mellom NTNU, SINTEF og universitetet i Laval, Canada. Gjennom disse arbeidene er det utviklet modeller for frostnedtrengning i forskjellige materialer som har blitt kalibrert mot instrumenterte feltforsøk (Røros, E6-sør for Trondheim). Det finnes også en god modell for vurdering av potensialet for telehiv ved en gitt frostbelastning. Det såkalte Segregasjonspotensialet er undersøkt for mange typiske materialer som brukes i vegbygging eller finnes i undergrunnen [19].

Dette betyr at det er mulig å beregne potensialet for telehiv for en gitt konstruksjon og en kan så stille et funksjonskrav knyttet til en slik analyse avhengig av trafikk, fartsgrense eller viktighet av veien.

Gjennom VegDim-prosjektet jobbes det med et verktøy som kan gjennomføre slike beregninger, men det finnes allerede i dag noen verktøy som kan brukes til en slik analyse, for eksempel COMSOL Multiphysics.

For å dokumentere at bygget konstruksjon hindrer frostnedtrengning kan det legges inn forholdsvis rimelige temperatursensorer på utvalgte steder i konstruksjonen. Disse kan brukes for en kontrollmåling, som så sjekkes opp mot modellen som er brukt. Dette vil gi en trygghet for at potensialet for skadelige telehiv er på riktig nivå etter bare en vinter, noe som vi redusere usikkerheten knyttet til kvalitet på konstruksjonen og endelig oppgjør betydelig.

Denne metoden kan også benyttes for dimensjonering av frostsikring av dreosanlegg eller andre elementer i en vegkonstruksjon. Det kan være nødvendig å benytte analyseverktøy som håndterer 3D-geometri og som dermed er litt mer krevende både for brukeren og når det gjelder datakraft.

6.3.1 Utfordringer med funksjonskrav til modellert potensiale for telehiv

Frostsikring plasseres langt nede (nederst) i en vegkonstruksjon, og det vil dermed være veldig kostbart å utbedre en konstruksjon dersom det viser seg at den ikke tilfredsstiller kravene. Dersom det legges opp til at entreprenør/prosjekterende må ta ansvar for en slik utbedring, må det enten legges inn veldig gode sikkerhetsmarginer (og dermed økte kostnader) eller kalkuleres inn en betydelig risiko. Hvis en ønsker å benytte funksjonskrav må man finne en god måte å fordele denne risikoen.

Når en gjør en beregning av frostnedtrengning og potensiale for telehiv, må det samtidig gjøres en rekke forutsetninger og forenklinger. På dimensjoneringstidspunktet er ofte materialvalg enda ikke bestemt, nøyaktige klimadata kan mangle (langt til nærmeste målestasjon), undergrunnen er ikke nøyaktig kartlagt etc. Hvis en har et ønsket resultat for øyet når en gjør alle disse valgene, for eksempel å komme ut med en minimal tykkelse, vil det være mulig å komme fram til en urealistisk analyse og resultat. Det er viktig at beregninger og forutsetninger blir kontrollert før bygging.

Den foreslåtte kontrollmålingen vil kreve ekstra innsats ved innstallering, for å avlese verdiene og gjennomføre en kontrollberegning. Selve utstyret som kreves er forholdsvis rimelig og kan gjøres enkelt å operere.

7 Oppsummering og konklusjon

I denne rapporten er det gjort vurderinger knyttet til videreutvikling av håndbok N200 Vegbygging i en mer funksjonsbasert retning. Gjennom litteratursøk er det sett på erfaringer med funksjonskrav innen andre samfunnsområder og ved vegbygging i andre land. Med basis i dette er det foretatt en generell diskusjon rundt viktige aspekter knyttet til funksjonskrav. Det er i tillegg foretatt en konkret diskusjon av mulige funksjonskrav for frostsikring.

Det finnes eksempler på innføring av funksjonskrav innen flere andre samfunnsområder. Som vist i denne rapporten er det noen områder som stiller funksjonskrav i form av overordnede kvalitative krav, men at disse ofte kombineres og suppleres med mer detaljerte krav. Etter SINTEF sin vurdering er slike kvalitative krav i liten grad relevante som et alternativ til dagens erfaringsbasert detaljerte krav. Disse er ikke målbare og mulige å følge opp, og er således vanskelig å innføre som kontraktskrav.

Et område der det er innført funksjonskrav er Byggtekniske forskrift (TEK17). Faglig sett vil det være stor forskjell mellom bygg og veger når det kommer til materialer, mekanismer mv. Slik sett vil det nok være lite å hente med hensyn til utforming av selve kravene. Derimot kan det være paralleller hvordan disse forskriftene må forholde seg til sin bransje der det er store ulikheter når det kommer til aktører og prosjekter. For vegbyggingsområdet kan det være erfaringer å hente fra byggebransjen for hvordan forskriften virker sammen med eksempelvis veiledninger og tjenester som bransjen selv tilbyr, og dermed ivaretar ulike aktørers behov ved prosjektering og bygging. Det kan kanskje også være erfaringer å hente på hvordan kravene brukes av større byggherrer i deres kontraktstrategi og mekanismer for hensiktsmessig risikofordeling mellom byggherrer og entreprenør.

Rapporten beskriver også eksempler på flere andre land som har prøvd ut funksjonskrav og som i dag bruker funksjonskrav i vegbygging. I dette arbeidet er det gått nærmere inn på krav og erfaringer i Sverige og New Zealand. Ut fra tilgjengelig litteratur kan det virke som om det i hovedsak er forsøkt med krav til ferdig bygd løsning i form av krav til vegoverflaten slik som spor, jevnhet, tekstur, friksjon mv. Når det gjelder utforming av selve kravene er det viktig at man ser på land med like forhold når det gjelder klima, materialer mv. For å lære mer om hvordan kravene er implementert i bransje, regimer for håndheving mv. kan erfaringer fra andre land også være relevante.

Dagens N200 inneholder funksjonskrav både der det framgår og beskrevet at det er funksjonskrav og krav som kan tolkes som funksjonskrav. Ved en gjennomgang av kapittel 5 Dimensjonering av vegoverbygning er det ikke funnet krav som eksplisitt beskrives som funksjonskrav og det er funnet få konkrete krav som tilfredsstillende særlig siste kulepunkt på definisjon av krav til funksjonskrav beskrevet i kapittel 2, det vil si "*funksjonsbaserte ytelseskrav (målbare ytelse med begrunnelse (kvantitative krav))*". Det er gitt enkelte beskrivelser av hva vegoverbygningen skal tåle, noe som kan tolkes som mulige funksjonskrav, men det er i tillegg henvisning til ulike krav og beskrivelser. Det er med andre ord ikke funnet gode eksempler på funksjonskrav som framstår for brukeren som alternativer til detaljerte krav og beskrivelser.

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. Et sentralt element er en rimelig risikofordeling mellom partene slik at entreprenøren tar ansvar for det som er under hans kontroll slik at man sikrer god kvalitet samtidig som man unngår at prisen går vesentlig opp fordi entreprenøren må ta høyde for en ukjent risiko. Det er en betydelig risiko for at overgang til funksjonskrav kan føre til lavere kvalitet, økte kostnader og økt konfliktnivå. For å unngå dette må en legge mye arbeid i utforming og forståelse for hvordan funksjonskravene skal følges opp og hva som er konsekvensen om de ikke blir oppfylt.

I prinsippet er det best at funksjonskrav og kontroll settes til ferdig bygget vegkonstruksjon, men dette kan i mange tilfeller vise seg å være vanskelig. Et alternativ er da at en prosjektert konstruksjon blir vurdert opp mot funksjonskrav ved hjelp av et analyseverktøy og at en bruker tradisjonelle kontrollmetoder for å sikre at vegen blir bygd som den er prosjektert.

Når det gjelder frostsikring er det et eksempel på at det ikke er hensiktsmessig å sette funksjonskrav til målt telehiv i felt selv om dette ikke er vanskelig å måle. Grunnen til dette er rett og slett at en måtte vente for lenge på en tilstrekkelig kald vinter for å sette vegen ordentlig på prøve. Om en ønsker å åpne for funksjonskrav innen dette området vil SINTEF foreslå at det blir basert på teoretiske analyser verifisert gjennom kontrollmålinger første vinter etter bygging.

Det er verdt å merke seg at både innen byggebransjen og innen vegbygging i andre land har innføringen av funksjonskrav medført relativt lange utviklingsløp. Det antas at dette skyldes at det faglig sett er et krevende arbeid å etablere gode funksjonskrav, men ikke minst at det i tillegg til selve kravene kreves utvikling på flere områder. Det må etableres kontraktstrategier og -mekanismer der kravene skal virke, bransjer må tilpasses med hensyn til både kapasitet og kompetanse og det må utvikles veiledere og andre hjelpemidler som er nødvendig utover selve kravene. Innenfor vegbygging er det klart at det trengs et løft både på kompetanse og kapasitet hos byggherre, rådgivere og entreprenører. Det trengs også utvikling og et kunnskapsløft på blant annet på dette med analysemetoder og -verktøy.

Innføring av funksjonskrav til vegbygging kan i utgangspunktet virke som en forenkling ved at selve kravene vil framstå som enklere. Vegbygging er komplekst, det er mange elementer i en konstruksjon som sammen bidrar til vegens funksjon og det er ulike skademekanismer som kan opptre ulikt gjennom den dimensjonerte levetiden. Det er derfor god grunn til å anta at funksjonskrav på mange måter vil føre til større kompleksitet blant annet når det gjelder forhold rundt kontrakt og risikofordeling. Hensikten og eventuelle positive effekter av funksjonskrav vil nok ikke ligge i en forenkling, men at man muliggjør en større grad av innovasjon og utvikling hos utførende ledd slik som entreprenører, produsenter og rådgivere.

7.1 Videre arbeid

Som nevnt ser man fra andre samfunnsområder og fra vegbygging i andre land at innføringen av funksjonskrav har medført ganske lange utviklingsløp og at det krever mer enn utarbeiding og utforming av selve kravene. For å kunne etablere funksjonskrav innen vegbygging foreslår SINTEF videre arbeid på følgende områder:

- Det bør ses nærmere på arbeidet og erfaringer med innføring av funksjonskrav i vegbygging i andre land. Her bør det fokuseres på land med sammenlignbare forhold eksempelvis med hensyn til klima. Det vil nok variere hvorvidt det er publisert litteratur på området slik at det i stedet for litteraturstudier anbefales det at det forsøkes med direkte kontakt opp mot relevante fagmiljø og vegmyndigheter. Aktuelle land antas å være eksempelvis Sverige, Finland og provinser i Canada.
- I tillegg til å arbeide videre med utforming av selve kravene bør det gjøres et strategisk arbeid knyttet til hvordan funksjonskrav skal fungere i og for de ulike delene av bransjen og hvordan dette er tenkt implementert. Tiltak som er nødvendige utover utformingen av selve kravene må identifiseres. Det kan handle om blant annet:
 - Identifisering og tiltak for dekking av kompetansebehov.
 - Identifisering og tiltak for dekking av kunnskapsbehov.
 - Utvikling av veiledere eller andre tjenester som hjelpemidler for prosjektering og bygging.
 - Kontraktstrategier og kontraktsutvikling (fordeling av risiko, etablering av målemetoder, sanksjonering mv.).

For dette arbeidet kan det hentes erfaring fra byggebransjen. SINTEF besitter god kompetanse på dette området. Det vil også her være naturlig å se på erfaring fra andre lands vegbygging.



- Det viktigste arbeidet vil selvsagt være å utvikle funksjonskravene. Her er det er nødvendig å ta for seg hvert enkelt område for å vurdere hvordan en kan sette fornuftige funksjonskrav. Et område der man ser et potensiale for bedre utnyttelse av ressurser gjennom funksjonskrav er bruk av ubundne materialer i bære- og forsterkningslag. Her har SINTEF og NTNU god kompetanse gjennom en rekke prosjekter, blant annet samarbeidsprosjektet «Kortreist stein».

8 Referanser

- [1] Statens vegvesen, «Håndbok N200 Vegbygging,» Statens vegvesen, 2018.
- [2] T. Kallionpää, R. Fredriksson, Å. Sandin, B. Greger og J. Myre, *Sammanstilling av funksionsegenskaper inom vägkonstruktionsområdet i Norden*, NVF, 2004.
- [3] Bane NOR, «Teknisk regelverk: Underbygning/Prosjektering og bygging/Banelegeme,» 2021. [Internett]. Available: https://trv.banenor.no/wiki/Underbygning/Prosjektering_og_bygging/Banelegeme.
- [4] Bane NOR, «Teknisk regelverk: Tunneler/prosjektering og bygging/Portaler og vannsikring,» 2021. [Internett]. Available: https://trv.banenor.no/wiki/Tunneler/Prosjektering_og_bygging/Portaler_og_vannsikring.
- [5] Avinor, «Håndbok for rehabilitering og vedlikehold av flyplassdekker, AV-H-U007, versjon 2.01,» 2013.
- [6] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17),» 2021. [Internett]. Available: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>.
- [7] N. Forsén, J. Korff og M. J. Røsjø, «Evaluering av funksjonsbaserte byggeregler,» Multiconsult Norge AS, 2019.
- [8] V. Stenstad, «Funksjonsbaserte byggeregler,» 29 10 2019. [Internett]. Available: <https://www.forsvarsbygg.no/globalassets/radgivningstjenester/sikring-av-bygg/presentasjoner-fra-konferanser/06.-vidar-stenstad-dibk.pdf>.
- [9] Ø. Birkeland og Å. Hallquist, «Funksjonskrav i byggindustrien,» *Særtrykk*, 1969.
- [10] T. Kallionpää, R. Fredriksson, Å. Sandin, B. Greger og J. Myhre, «Sammanstilling av funksionsegenskaper inom vägkonstruktionsområdet i Norden,» NVF, 2002.
- [11] S. Said og A. Huvstig, «Performance spesifcation in Sweden,» *Routes/Roads*, vol. 315, pp. 35-44, 2002.
- [12] J.-E. Nilsson, A. Ihs, L. Sjögren, L. G. Wilman og L.-G. Wågberg, «Funktionsupphandling - Sammanfatning av kunnskapsläge og rekommendationer för fortsatt forskning,» VTI, 2006.
- [13] R. e. a. Karlsson, «Funktionskriterier för vägkonstruktions,» SBUF og NCC, 2010.
- [14] B. Pidwerbesky, D. Alabaster og J. Fulton, «Transit New Zealand's performance-based flexible pavement design and construction specification: both sides of the story,» i *Annual NZIHT/Transit NZ/Local Government NZ Symposium*, 2003.
- [15] B. Pidwerbesky og D. Alabaster, «Performance Specification for Sealed Unbound Granular Pavement Design and Construction: Twelve-Year Case Study,» i *TRB 2015 Annual Meeting*, 2015.
- [16] «www.kortreiststein.no,» [Internett].
- [17] K. Rieksts, I. Hoff, E. Scibilia og J. Côté, «Laboratory investigations into convective heat transfer in road construction materials,» *Canadian geotechnical journal (Print)*, 2019.
- [18] I. Hoff, E. Scibilia, K. Rieksts, B. Loranger og A. Watn, «Sluttrapport FROST-prosjektet,» NTNU, Trondheim, 2020.
- [19] B. Loranger, I. Hoff, E. Scibilia og G. Doré, «Frost Heave Laboratory Investigation on Crushed Rock Aggregates,» *Cold Regions Engineering 2019. American Society of Civil Engineers (ASCE)*, pp. 83-91, 2019.