



SINTEF

# Veileder

## Bæreevne for eksisterende takkonstruksjoner med ny grønn takoppbygging

Kartlegging og beregning

Foto: Bergknapp AS

### Forfattere:

Tore Myrland Jensen, Kristin Elvebakk, Svein Terje Kolstad og Sigurd Eide

### Rapportnummer:

2023:01334 - Åpen

### Oppdragsgiver:

Oslo Kommune



SINTEF Community  
Postadresse:  
Postboks 4760 Torgarden  
7465 Trondheim  
Sentralbord: 40005100  
info@sintef.no

Foretaksregister:  
NO 919 303 808 MVA

# Rapport

## Bæreevne for eksisterende takkonstruksjoner med ny grønn takoppbygging

**EMNEORD**  
Grønne tak  
Takkonstruksjoner  
Laster  
Lastkombinering  
Bæreevne

**VERSJON**  
02

**DATO**  
2024-03-18

**FORFATTERE**  
Tore Myrland Jensen, Kristin Elvebakk, Svein Terje Kolstad og Sigurd Eide

**OPPDRAGSGIVER**  
Oslo Kommune

**OPPDRAGSGIVERS REFERANSE**  
Sina Jenhaug Ringlund

**PROSJEKTNUMMER**  
102030113

**ANTALL SIDER**  
75

### Sammendrag

Denne veilederen viser en metodikk og fremgangsmåte for vurdering av mulighet for etablering av ny grønn takoppbygging på eksisterende takkonstruksjoner. Metodikken som fremgår av veilederen er todelt, hvor del 1 (kap. 2) angir tidlige undersøkelser og fremhenting av dokumentasjon som en byggeier selv kan utføre. Del 2 omfatter lastberegninger (kap. 3), lastkombinering (kap. 4) og dokumentasjon av bæreevne (kap. 5), som i stor grad må utføres av rådgivende ingeniør bygg (RIB). Det vil imidlertid være fullt mulig for byggeiere eller andre å vurdere netto lastøkning iht. kap. 3 og 4 i forbindelse med innledende vurdering av mulighet for etablering av ulike typer av grønt tak, også før man har undersøkt tilstand og bæreevne i den eksisterende takkonstruksjonen. Det vil være hensiktsmessig å gjennomgå metodikken som er vist i kap. 2 før man ev. går videre med vurderinger og beregninger som fremgår av kap. 3, 4 og 5.

**UTARBEIDET AV**  
Kristin Elvebakk

SIGNATUR  
*Kristin Elvebakk*

**KONTROLLERT AV**  
Berit Time

SIGNATUR  
*Berit Time*  
Berit Time (19. mar., 2024 08:53 GMT+1)

**GODKJENT AV**  
Lars Gullbrekken

SIGNATUR  
*Lars Gullbrekken*

COMPANY WITH  
MANAGEMENT SYSTEM  
CERTIFIED BY DNV  
ISO 9001 • ISO 14001  
ISO 45001

**RAPPORT NR.**  
2023:01334

**ISBN**

**GRADERING**  
Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**  
Åpen

# Historikk

| VERSJON | DATO       | VERSJONSBEKRIVELSE |
|---------|------------|--------------------|
| 01      | 2024-01-31 | Rapport            |
| 02      | 2024-03-18 | Mindre justeringer |

# Innholdsfortegnelse

|          |                                                                                                |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INNLEDNING .....</b>                                                                        | <b>5</b>  |
| <b>2</b> | <b>KARTLEGGING SOM KAN UTFØRES AV BYGGEIERE.....</b>                                           | <b>8</b>  |
| 2.1      | Ulike typer takkonstruksjoner.....                                                             | 8         |
| 2.1.1    | Kompakt tak.....                                                                               | 9         |
| 2.1.2    | Skrå, luftede tak.....                                                                         | 11        |
| 2.1.3    | Prefabrikkerte, kompakte takelementer .....                                                    | 12        |
| 2.2      | Grønne takløsninger .....                                                                      | 13        |
| 2.3      | Vurdering av potensiale for etablering av grønt tak.....                                       | 15        |
| 2.4      | Sjekkpunkter for eksisterende tak .....                                                        | 16        |
| 2.5      | Innhenting av dokumentasjon på eksisterende konstruksjon .....                                 | 17        |
| 2.5.1    | Underlag som bør fremskaffes .....                                                             | 17        |
| 2.5.2    | Hvor kan tegnings- og beregningsunderlag fremskaffes? .....                                    | 17        |
| 2.5.3    | Dersom tegninger ikke kan fremskaffes.....                                                     | 24        |
| <b>3</b> | <b>KARTLEGGING AV BELASTNINGSSITUASJON - LASTTILFELLER .....</b>                               | <b>25</b> |
| 3.1      | Formål .....                                                                                   | 25        |
| 3.2      | Egenlaster for takkonstruksjoner.....                                                          | 28        |
| 3.2.1    | Metode – Beregning av karakteristisk egenlast, $g_{Ek,A}$ , fra takkonstruksjon.....           | 28        |
| 3.2.2    | Eksempel – Beregning av karakteristisk egenlast, $g_{Ek,A}$ , fra takkonstruksjon .....        | 32        |
| 3.3      | Egenlaster fra grønn takoppbygging.....                                                        | 34        |
| 3.3.1    | Metode – Beregning av karakteristisk egenlast, $g_{Ek,B}$ , fra grønn takoppbygging.....       | 34        |
| 3.3.2    | Eksempel – Beregning av $g_{Ek,B}$ fra grønn takoppbygging .....                               | 38        |
| 3.4      | Vindlaster inkl. ev. tilhørende nødvendig ballast .....                                        | 39        |
| 3.5      | Spesielle påførte egenlaster fra solcelleanlegg, etc.....                                      | 41        |
| 3.6      | Nyttelaster .....                                                                              | 42        |
| 3.6.1    | Metode – Fastsettelse av karakteristiske nyttelaster, $q_{Ek}$ , på tak .....                  | 42        |
| 3.6.2    | Eksempel – Karakteristisk nyttelast, $q_{Ek}$ , på tak.....                                    | 43        |
| 3.7      | Snølaster .....                                                                                | 44        |
| 3.7.1    | Metode – Fastsettelse av karakteristisk snølast på tak, $s_{Ek}$ .....                         | 44        |
| 3.7.2    | Utvikling av hvilke snølaster som er tatt hensyn til.....                                      | 44        |
| 3.7.3    | Utfyllende informasjon og eksempel på beregning av karakteristisk snølast på mark, $s_k$ ..... | 45        |
| 3.7.4    | Eksempel – Beregning av karakteristisk snølast på tak, $s_{Ek}$ .....                          | 48        |
| 3.8      | Vannlaster .....                                                                               | 49        |
| 3.9      | Laster under utførelse.....                                                                    | 49        |

|          |                                                                                                 |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4</b> | <b>LASTKOMBINERING – BEREKNING AV DIMENSJONERENDE LASTER.....</b>                               | <b>50</b> |
| 4.1      | Formål .....                                                                                    | 50        |
| 4.2      | Lastkombinering i bruddgrensetilstanden (ULS).....                                              | 53        |
| 4.2.1    | Metode – Beregning av dimensjonerende belastning, $p_{Ed}$ , i bruddgrensetilstanden (ULS)..... | 53        |
| 4.2.2    | Eksempel 1 – Beregning av $p_{Ed}$ – Lett eksisterende bærekonstruksjon .....                   | 54        |
| 4.2.3    | Eksempel 2 – Beregning av $p_{Ed}$ – Tung eksisterende bærekonstruksjon.....                    | 56        |
| 4.3      | Lastkombinering i bruksgrensetilstanden (SLS) .....                                             | 58        |
| 4.3.1    | Metode – Beregning av $p_{SLS}$ .....                                                           | 58        |
| 4.3.2    | Eksempel 1 – Beregning av $p_{SLS}$ – Lett eksisterende bærekonstruksjon.....                   | 60        |
| 4.3.3    | Eksempel 2 – Beregning av $p_{SLS}$ – Tung eksisterende bærekonstruksjon.....                   | 62        |
| 4.4      | Lastkombinering i ulykkesgrensetilstanden - brann (ALS) .....                                   | 63        |
| <b>5</b> | <b>DOKUMENTASJON AV BÆREEVNE.....</b>                                                           | <b>64</b> |
| 5.1      | Regelverk og konstruksjonsstandarder.....                                                       | 64        |
| 5.2      | Oversikt prosess .....                                                                          | 65        |
| 5.3      | Dokumentasjon av bæreevne i bruddgrensetilstanden (ULS).....                                    | 67        |
| 5.4      | Dokumentasjon av bæreevne i grensetilstanden brann (ALS) .....                                  | 68        |
| 5.5      | Dokumentasjon av bæreevne/stivhet i bruksgrensetilstanden (SLS).....                            | 70        |
| <b>6</b> | <b>REFERANSER OG LITTERATUR .....</b>                                                           | <b>71</b> |

**Vedlegg A:** Egenlaster for takkonstruksjoner (3 sider)

## 1 INNLEDNING

Denne veilederen gir retningslinjer for vurdering av bæreevne for eksisterende takkonstruksjoner hvor det er ønskelig å etablere grønt tak. Etablering av grønt tak på eksisterende bygg vil ofte være særlig aktuelt ved større rehabiliteringer, omtekking eller vedlikehold av tak, siden det da ofte vil være behov for noen tilpasninger på det eksisterende taket.

Det finnes i dag mange standarder og veiledere som gir råd for oppbygning av grønne tak, men disse veilederne har i stor grad fokus på hvordan den grønne oppbygningen skal bygges opp og lite på hvordan dette påvirker underliggende bærekonstruksjon. Denne veilederen skal derfor bidra til å redusere barrierene ved å etablere grønne tak ved at den angir konkrete krav og retningslinjer for beregning og dokumentasjon av takets- og tilhørende konstruksjoners bæreevne.

Hovedformålet med denne veilederen er todelt, og det er også målgruppen for veilederen.

Veilederen skal være:

- a) et verktøy/veileder for tidligvurdering av potensial og mulighet for etablering av grønt tak på en gitt eksisterende takkonstruksjon – rettet mot byggeiere
- b) et verktøy/veileder som sikrer at endelig dokumentasjon av stivhet og bæreevne for eksisterende konstruksjoner (dekker, bjelker, søyler, vegger) som bærer denne type ny grønn takoppbygging utføres i henhold til samme metode (sikkerhetsfilosofi) – rettet mot rådgivere i byggeteknikk (RIB) som er ansvarlig prosjekterende.

[Kapittel 2](#) i denne veilederen omfatter enkle forundersøkelser som kan utføres for å vurdere mulighetsrommet for etablering av grønt tak. Dette er kontroller som angir hvilke grønne takoppbygginger (påførte egenlaster) som kan være, eller ikke kan være gjennomførbare for ulike hovedtyper av bærende takkonstruksjoner. Disse undersøkelsene er rettet mot byggeiere og deres kunnskap om eget tak. Forundersøkelsene vil gi et beslutningsgrunnlag for hvorvidt det er hensiktsmessig å involvere en byggeteknisk rådgiver og gå videre med lastberegninger og dokumentasjon av stivhet og bæreevne for det eksisterende taket.

Vurderinger som fremgår av [kapittel 3](#) og [4](#) kan også utføres av byggeiere, men hovedsakelig vil videre utredning og dokumentasjon som fremgår av [kapittel 3](#), [4](#) og [5](#) kreve fagkunnskap om konstruksjoner og laster, og rettes mot rådgivende ingeniører i bygg (RIB).

Metodikken som fremgår av veilederen, er vist skjematisk i [figur 1](#). Bokser med *grønne* farger på figuren indikerer undersøkelser som en byggeier i stor grad kan utføre og finne ut av selv, mens *oransje* bokser indikerer utredninger som først og fremst må utføres av en rådgivende ingeniør i bygg (RIB). Tilsvarende, men noe mer detaljert flytskjema, finnes også som [figur 5.1](#) i veilederens [kapittel 5](#).

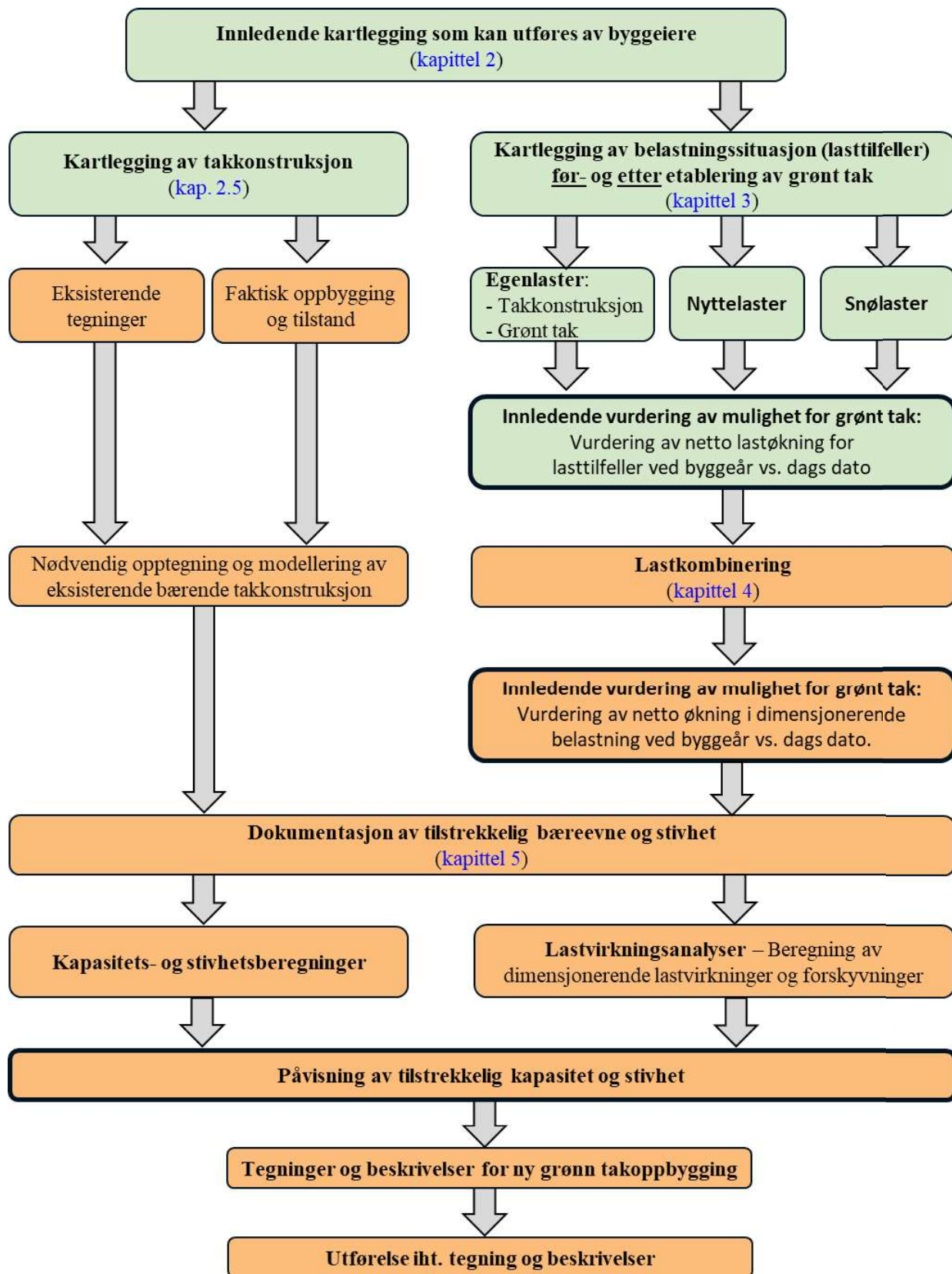


### ***Om metodikken i veilederen***

Fremgangsmåten som er angitt i veilederen er generell, og kan benyttes for å vurdere både lette og tyngre varianter av grønne takoppbygninger på ulike typer av eksisterende takkonstruksjoner. Det er også fullt mulig å benytte veilederen ved vurdering og dokumentasjon av bæreevne for ulike laster på ulike deler av taket. Dette kan typisk være aktuelt der ulike typer av grønn takoppbygging tilpasses bæresystem og bæreevne i eksisterende takkonstruksjon.

Vurdering av belastningssituasjon og bæreevne iht. denne veilederen, for eksisterende tak som planlegges for ny grønn takoppbygning, forutsetter i utgangspunktet at det ikke vil bli behov for ombygging og/eller forsterkningstiltak av eksisterende bærekonstruksjoner (dekker, bjelker, søyler, vegger). I tilfeller hvor takets bæreevne og/eller stivhet må økes, kan veilederen likevel benyttes som underlag for bestemmelse av ytelseskrav (lastkapasitet og stivhet) og dokumentasjonsbehov for de forsterkede bærekonstruksjonene.

Kartlegging av belastningssituasjonen *før-* og *etter* etablering av grønt tak ([kapittel 3](#) og [4](#)), samt kartlegging av takets bæreevne ([kapittel 2.5](#) og [5](#)), vil gi svar på om taket har tilstrekkelig stivhet og bæreevne for ny grønn takoppbygning, eller om takets bærekonstruksjoner må forsterkes.



**Figur 1** Metodikk for vurdering av egnethet og dokumentasjon av bæreevne for eksisterende takkonstruksjon mht. fremtidig grønn takoppbygging



## 2 KARTLEGGING SOM KAN UTFØRES AV BYGGEIERE

Dette kapitlet omfatter undersøkelser som en byggeier selv kan utføre for å kartlegge mulighetsrommet for å etablere grønt tak på et konkret bygg. Avklaringer som fremgår av dette kapitlet, omfatter følgende:

- Bestemmelse av type takkonstruksjon (se [kapittel 2.1](#))
- Valg av grønn oppbygning (se [kapittel 2.2](#))
- Matrise for avklaring av potensiale for etablering av grønn takløsning (se [kapittel 2.3](#))
- Identifisering av barrierer for å etablere grønt tak på eksisterende bygg (se [kapittel 2.4](#))
  - Vernehensyn
  - Takets tilstand (eksempelvis alder og eventuelt kjente problemer/skader)
  - Praktisk og trygg adkomst og bruk
  - Brannsikkerhet
  - Type takkonstruksjon
- Innhenting av underlag som grunnlag for videre beregning/vurdering (se [kapittel 2.5](#))

### 2.1 Ulike typer takkonstruksjoner

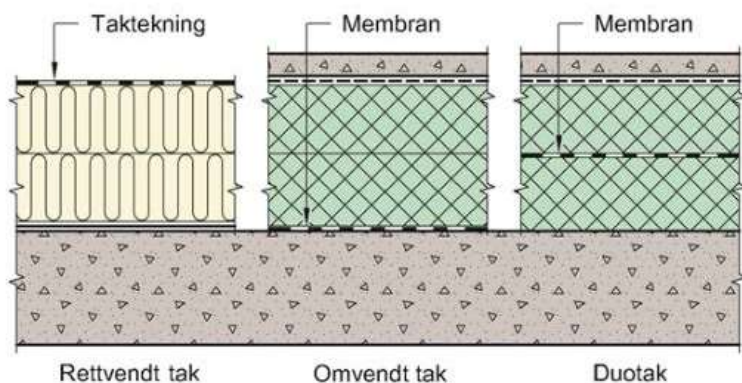
#### Generelt

Ved ønske om å etablere grønt tak på eksisterende bygg, vil type takkonstruksjon i det eksisterende taket si noe om potensialet for å etablere grønt tak. God kjennskap til oppbygning og tilstand på eksisterende takkonstruksjon er derfor viktig for å kunne gjøre en vurdering på tidlig stadium av mulighetsrommet for å etablere grønn takoppbygning.

Videre i dette kapitlet presenteres ulike typer takkonstruksjoner som er mye brukt i Norge i dag. Vurdering av potensiale for etablering av grønt tak, som fremgår av [kapittel 2.3](#), tar utgangspunkt i disse konstruksjonstypene.

### 2.1.1 Kompakt tak

I en kompakt takkonstruksjon ligger storparten av varmeisolasjonen over bærekonstruksjonen, og alle sjiktene i konstruksjonen ligger tett over hverandre uten luftesjikt. Kompakte tak er fortrinnsvis flate tak, og membranens plassering i takkonstruksjonen vil videre legge føringer for hvilken grønn oppbygning som vil være egnet for taket, se [kapittel 2.2](#).



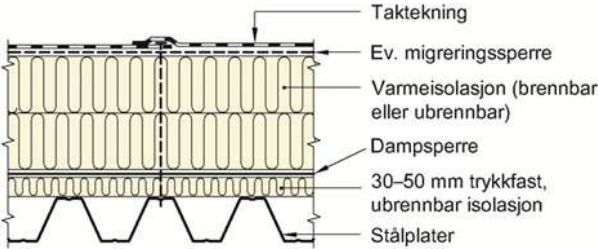
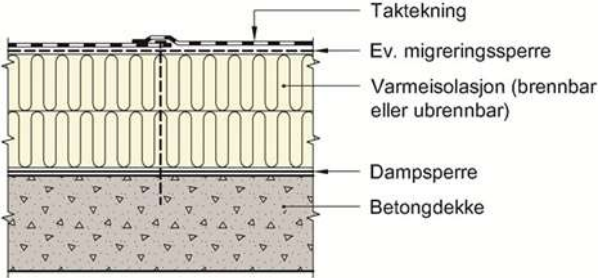
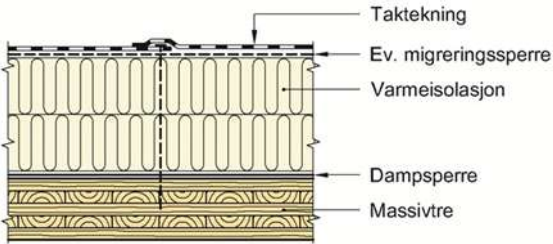
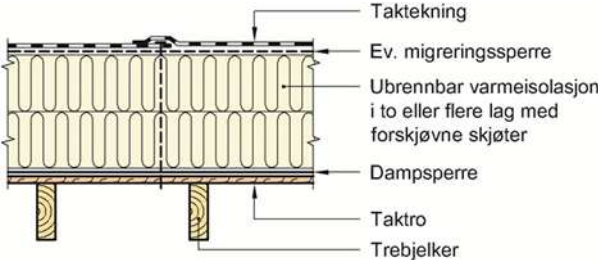
**Figur 2.1** Membranplassering i kompakte tak [\[3.4\]](#)

*Rettvendte tak* (se [figur 2.1](#)) har takbelegget lokalisert i topp av varmeisolasjonen. I slike konstruksjoner er membranen oftest mekanisk innfestet til bærekonstruksjonen, og taket har ikke behov for ballastering (overliggende vekt) for å holde membranen på plass mot vindsug på taket. Slike tak er godt egnet for tynne oppbygninger som eksempelvis sedum.

*Omvendte tak og duotak* (se [figur 2.1](#)) har takbelegget lokalisert henholdsvis under varmeisolasjonen i taket og mellom to isolasjonslag i taket. I slike konstruksjoner ligger både isolasjon og takbelegg løst, og det vil da være behov for tilstrekkelig ballast for å sikre mot vindavblåsing. Sedummatter alene vil ikke være tunge nok som ballast på slike tak.

Type bærekonstruksjon i bunn av det kompakte taket vil påvirke muligheten for å kunne tilføre ekstra tilleggslast. Stive, tunge bærekonstruksjoner vil få en relativt mindre tilleggslast ved etablering av grønt tak enn hva lette bærekonstruksjoner vil kunne få, og sannsynligheten for at det kan være mulig å etablere grønt tak vil da være større på tunge bærekonstruksjoner enn for lette konstruksjoner. [Tabell 2](#) viser ulike bærekonstruksjoner i kompakte takkonstruksjoner og deres potensiale for å kunne påføre tilleggslast.

**Tabell 2.1** Ulike bærekonstruksjoner i kompakte tak og potensiale for etablering av grønt tak

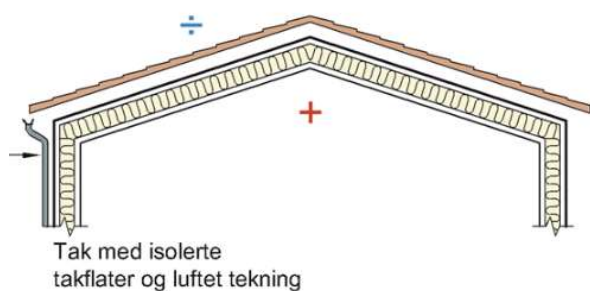
| Aktuelle bærekonstruksjoner      |                                                                                      | Merknad                                                                                                                               |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bærekonstruksjon av stål         |    | Lette konstruksjoner – en lastøkning fra grønn oppbygning vil medføre stor prosentvis endring av den totale lasten på taket.          |
| Bærekonstruksjon av betong       |    | Tunge konstruksjoner – en lastøkning fra grønn oppbygning vil medføre noe mindre prosentvis endring av den totale lasten på taket.    |
| Bærekonstruksjon i massivtre     |    | Relativt lette konstruksjoner – en lastøkning fra grønn oppbygning vil medføre stor prosentvis endring av den totale lasten på taket. |
| Bærekonstruksjon av trebjelkelag |  | Lette konstruksjoner – en lastøkning fra grønn oppbygning vil medføre stor prosentvis endring av den totale lasten på taket.          |

Figurer hentet fra Byggforskserien 525.207 [\[3.4\]](#)

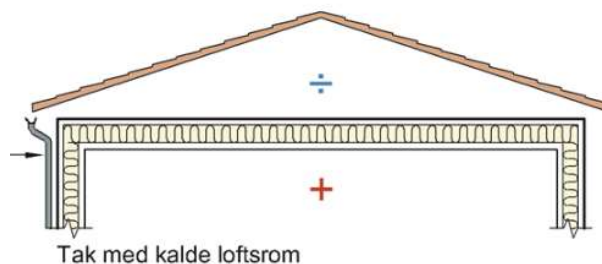
### 2.1.2 Skrå, luftede tak

Skrå luftede tretak er ofte bygd opp med en bærekonstruksjon i tre. I varme loft er isolasjonen i taket plassert mellom sperrene, som danner bæring i takkonstruksjonen, se [figur 2.2](#). I kalde loftsrom legges isolasjonen flatt under bærekonstruksjonen, se [figur 2.3](#).

Felles for begge løsningene er at det over bærekonstruksjonen lektes opp for lufting av undertak og taktekning.



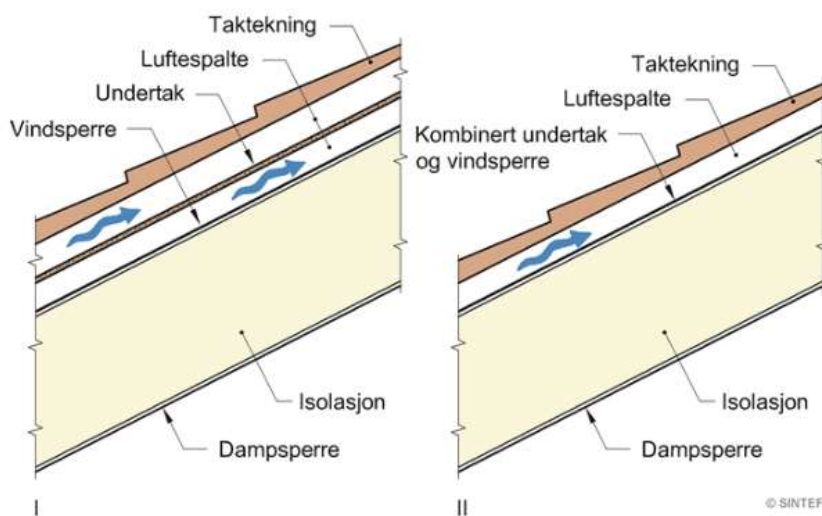
**Figur 2.2** Tak med isolert takflate (varmt loft) og luftet tekning [\[3.2\]](#)



**Figur 2.3** Tak med isolasjon under bærekonstruksjonen (kaldt loft) og luftet tekning [\[3.2\]](#)

Skråtak med bærekonstruksjon av tre er lette konstruksjoner, og etablering av grønt tak over eksisterende takkonstruksjon kan derfor medføre en vesentlig relativ lastøkning utover konstruksjonens opprinnelige lastsituasjon.

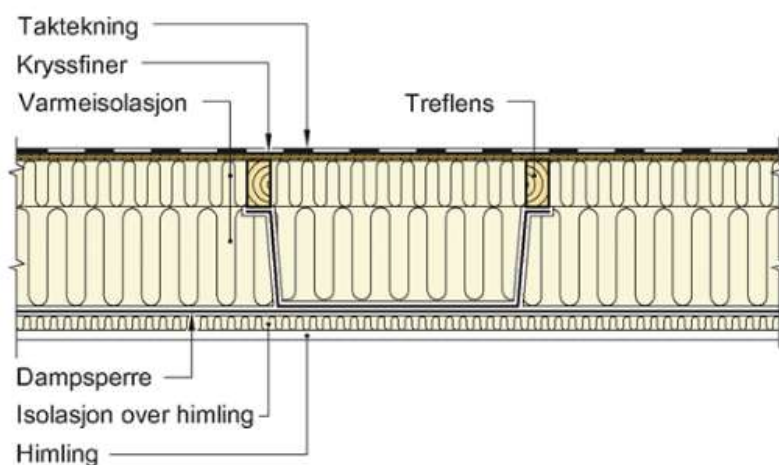
Løsning (I) og (II) i [figur 2.4](#) viser to varianter av skrått, luftet tretak med henholdsvis separat undertak og vindsperre og kombinert undertak og vindsperre. Etablering av grønn takløsning vil for begge disse løsningene kreve at ytterste del av taket består av en luftet taktro med et vanntett og rotsikkert undertaksbelegg (eksempelvis asfaltbelegg). Dersom eksisterende takkonstruksjon eksempelvis har taktekning av betongtakstein, så forutsettes det ombygging til taktekning av taktro og undertaksbelegg dersom det skal etableres grønt tak.



**Figur 2.4** Oppbygning av skrå, luftede tak med isolert sperretak og henholdsvis separat vindsperre og undertak (I) og kombinert undertak og vindsperre (II) [3.3]

### 2.1.3 Prefabrikkerte, kompakte takelementer

Det finnes flere typer prefabrikkerte, kompakte takelementer på markedet. Bærekonstruksjonen i slike kompakte konstruksjoner kan være bygget opp av flere statisk samvirkende materialer. Vanlige bærende materialer for slike elementer er trebaserte konstruksjonsplater og stålplater, se eksempel i figur 2.5. Slike prefabrikkerte takelementer er lette konstruksjoner. Den relative lastøkningen ved etablering av grønne tak kan derfor være stor målt opp mot konstruksjonens opprinnelige egen- og nyttelastsituasjon.



**Figur 2.5** Eksempel på prefabrikkerte takelementer [3.4]

## 2.2 Grønne takløsninger

Grønne takløsninger kan bygges opp på flere ulike måter og i ulike tykkelser. Det kan også være aktuelt å etablere grønne områder i frittstående plantebed og plantekasser. Dette resulterer i at lastene som påføres taket også kan variere over takkonstruksjonen.

Når man skal velge grønn løsning er det viktig å identifisere formålet med å etablere grønt tak, da dette vil være førende for hvilken grønn oppbygning som er mest egnet. For vurderinger i tidlig fase er grønne tak i denne veilederen delt inn i 4 vektkategorier, se [tabell 2.2](#). Tak i vektklasse A er tak som er egnet for fordrøyning men lite egnet til personopphold. De øvrige kategoriene vil tåle personopphold, ha fordrøyningsevne og kunne bidra til biologisk mangfold, men vil også ha til dels vesentlig høyere flatevekt per m<sup>2</sup> takflate enn tak i vektklasse A. Tabellen kan benyttes som veiledende med hensyn på valg av ønsket oppbygning.

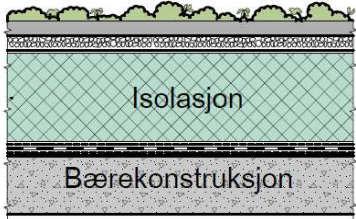
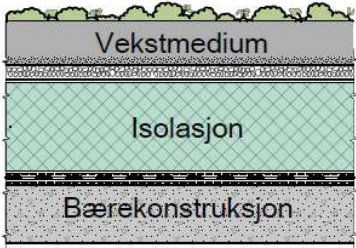
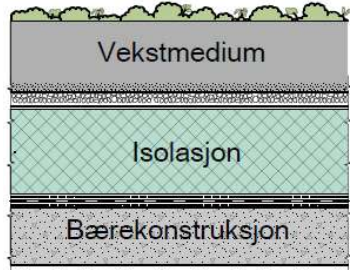
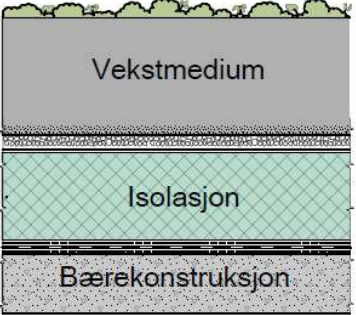
Lette oppbygninger (vektklasse A) vurderes å være best egnet for etablering på eksisterende tak, men det kan i noen tilfeller også være mulig å etablere tyngre oppbygninger på konstruksjoner hvor det enten skal fjernes noe eksisterende vekt, eller hvor bruken av taket skal endres i forbindelse med etableringen av grønn takoppbygning. Oppbygninger i vektklasse B, C og D kan også være aktuelle til bruk i frittstående plantekasser på taket.

*Ekstensive tak* er et begrep som brukes om lavtbyggende grønne tak. Vekstmedium for plantene har gjerne med byggehøyde mindre enn 90 mm, og i tørr tilstand kan disse løsningene være så lette at de ikke holder takbelegget på plass mot vindsug. Takbelegget må derfor ligge over isolasjonen i underliggende konstruksjon, og festes mekanisk til underliggende bærekonstruksjon. Se figur ved vektkategori A i [tabell 2.2](#).

*Intensive tak* er et begrep som brukes om relativt høytbyggende grønne tak. Vekstmedium for plantene har gjerne en byggehøyde større enn 90 mm, og vekten av vekstmedium og planter er så stor at den holder underliggende isolasjon og takmembran på plass mot vindkrefter. Intensive tak kan også benyttes til takhager o.l, og det er derfor hensiktsmessig at takmembranen ligger under isolasjonen for å beskytte den. Se figur ved vektkategori B, C og D i [tabell 2.2](#).



**Tabell 2.2** Kategorisering av grønne tak – vektintervall oppgitt for (vannmettet vekt) <sup>1</sup>

| Vektklasser <sup>1)</sup><br>(flatevekt) | Typisk tykkelse <sup>2)</sup><br>(grønn takoppbygging) | Typisk oppbygning                                                                   | Aktuell<br>beplantning /<br>bruksområde                                     | Gevinster ved<br>grønn takløsning                                                                         |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b><br>25 – 100 kg/m <sup>2</sup>   | 50 – 100 mm<br>(ekstensiv tak)                         |    | Sedum                                                                       | Fordrøyning<br>(Mindre egnet for<br>ferdsel, vil kreve<br>etablering av<br>gangbaner)                     |
| <b>B</b><br>100 – 250 kg/m <sup>2</sup>  | 100 – 150 mm<br>(intensive tak)                        |    | Blanding av<br>sedum, urter og<br>gress.                                    | Opprettholde<br>biologisk<br>mangfold<br>Fordrøyning<br>Ferdsl<br>(hovedsakelig der<br>hvor det er gress) |
| <b>C</b><br>250 – 450 kg/m <sup>2</sup>  | 150 – 300 mm<br>(intensive tak)                        |   | Plantedekke<br>hovedsakelig av<br>stauder, gress,<br>urter og små<br>busker | Opprettholde<br>biologisk<br>mangfold<br>Fordrøyning<br>Ferdsl, opphold<br>godt egnet til<br>parkområder) |
| <b>D</b><br>450 – 750 kg/m <sup>2</sup>  | 300 – 500 mm<br>(intensive tak)                        |  | Stauder, busker<br>og trær                                                  | Opprettholde<br>biologisk<br>mangfold<br>Fordrøyning<br>Ferdsl (også<br>egnet til<br>parkområder)         |

<sup>1)</sup> Vektklassene A – D gjelder vannmettet vekt av ny grønn takoppbygging bestående av topplag, vekstmedium, separasjonssjikt og vannmagasinerende/drenerende sjikt, se [kapittel 3.3](#)

<sup>2)</sup> Gjelder tykkelse av grønn takoppbygging,  $h_B$ , se [kapittel 3.3](#)

<sup>1</sup> Beregningsmetodikk som fremgår av [kapittel 3](#), [4](#) og [5](#) er generell og kan benyttes på alle mulige tykkelser og oppbygninger av grønne tak.

## 2.3 Vurdering av potensiale for etablering av grønt tak

Tabell 2.3 viser en oppstilling av ulike typer takkonstruksjoner (se [kapittel 2.1](#)) og en vurdering av hvorvidt de er egnet for etablering av grønt tak, uten forsterkningstiltak. Tabellen forutsetter at det ikke er fjernet noe vekt fra opprinnelig konstruksjon. Dersom det skal fjernes vekt vil sannsynligheten for at grønt tak skal kunne realiseres være større enn hva som fremgår av tabellen. Det samme gjelder om man differensierer type grønn takoppbygging (lett/tung) slik at denne er tilpasset takkonstruksjonens bæresystem, herunder utnyttelse av mer lokale områder over underliggende bærekonstruksjoner (vegger, bjelker) der takkonstruksjonen har betydelig overkapasitet sammenlignet med andre områder. Tabellen må derfor anses som en grov gradering av mulighetene.

Fargene i tabellen viser en gradering av mulighetsrommet for hver type konstruksjon. Det er i denne sammenheng ikke brukt grønn farge siden det aldri vil være aktuelt å etablere grønt tak uten at det foretas beregninger/vurderinger av bæreevne for konstruksjonen.

**Tabell 2.3** Mulighet for å kunne bygge om til grønt tak

| Type takkonstruksjon (bærekonstruksjon)                                    |                                  | Kategori grønt tak iht. <a href="#">kapittel 2.2</a> |   |   |   |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|---|---|---|
|                                                                            |                                  | A                                                    | B | C | D |
| Kompakt tak<br>(se <a href="#">kapittel 2.1.1</a> )                        | Bærekonstruksjon av betong       |                                                      |   |   |   |
|                                                                            | Bærekonstruksjon av massivtre    |                                                      |   |   |   |
|                                                                            | Bærekonstruksjon av trebjelkelag |                                                      |   |   |   |
|                                                                            | Bærekonstruksjon av stål         |                                                      |   |   |   |
| Skrått, luftet tretak (se <a href="#">kapittel 2.1.2</a> )                 |                                  |                                                      |   |   |   |
| Prefabrikkerte kompakte, takelementer (se <a href="#">kapittel 2.1.3</a> ) |                                  |                                                      |   |   |   |

|  |                 |
|--|-----------------|
|  | Mulighet        |
|  | Mindre mulighet |
|  | Liten mulighet  |

## 2.4 Sjekkpunkter for eksisterende tak

Gjennomgang av disse sjekkpunkter som fremgår av [tabell 2.4](#) vil avdekke om det er forhold som kompliserer for etablering av grønt tak, eller eventuelt medfører behov for ombygging/tilpasninger i eksisterende takkonstruksjon. Resultater fra gjennomgang av sjekkliste i [tabell 2.4](#) vil avgjøre om det er hensiktsmessig å gå videre med beregninger og vurderinger som angitt i [kapittel 3, 4 og 5](#).

**Tabell 2.4** Vurdering av egnethet for å etablere grønn takoppbygning

| Forhold som må vurderes | Kommentar                                                                                                                                                                                                  | Sjekkpunkter                                                                                                                                                         | Avklaring |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Type takkonstruksjon | Type bærekonstruksjon i taket vil si noe om muligheten for å etablere ulike varianter av grønne takløsninger på det eksisterende taket.                                                                    | Se egen mulighetsvurdering i <a href="#">kapittel 2.3</a>                                                                                                            |           |
| 2. Vernehensyn          | Vernestatus for bygninger kan hindre muligheten for etablering av grønt tak. Kontakt vernemyndighet.                                                                                                       | Er det føringer fra vernemyndighet som kan hindre etablering av grønt tak?                                                                                           |           |
| 3. Takets tilstand      | Kjente skader og problemer med taket eller underliggende bæresystem vil kunne medføre behov for forsterkning/utbedring før man kan etablere grønn oppbygning. Teknisk utstyr montert på taket må vurderes. | Er det noen kjente problemer med taket (eller underliggende konstruksjoner) som bør undersøkes nærmere? (svanker, sprekkdannelser, lekkasjer, korrosjon, råte, etc.) |           |
|                         |                                                                                                                                                                                                            | Er det montert teknisk utstyr på taket som kompliserer etablering av grønt tak?                                                                                      |           |
|                         | God fuktsikkerhet i takkonstruksjonen er svært viktig, og det er viktig at taket som bygges inn har lang levetid. Her kan det være behov for å forhøre seg med en taktekker.                               | Er alder og tilstand på takbelegg ok med hensyn på innbygging? <sup>2</sup>                                                                                          |           |
|                         |                                                                                                                                                                                                            | Er det behov for ombygging for å få til fuktsikre overganger mot parapeter, terskler, etc.?                                                                          |           |
| 4. Adkomst og bruk      | Grønne tak krever drift og vedlikehold <sup>3</sup> , og i tørre perioder også vanning. Dette krever at adkomsten til taket tillater at nødvendige vedlikeholdsoppgaver kan bli utført.                    | Er det god og trygg adkomst for drift og vedlikehold av det grønne taket?                                                                                            |           |
|                         |                                                                                                                                                                                                            | Er det mulighet for vanning i tørre perioder? (tilgang til vann fra taket)                                                                                           |           |
|                         |                                                                                                                                                                                                            | Er det ønske om et grønt tak som skal benyttes til personopphold? (se <a href="#">tabell 2.2</a> )                                                                   |           |
| 5. Brannsikkerhet       | Grønne tak kan i tørre perioder tørke ut og påvirke brannsikkerheten ved taket. I tak over flere boenheter/brannceller kan det være behov for vanning av taket.                                            | Er det mulig å tilrettelegge for vannuttak på taket?                                                                                                                 |           |

<sup>2</sup> Det vil i de fleste tilfeller være nødvendig å legge nytt takbelegg, dersom dette ikke er relativt nytt. Eksisterende takbelegg bør kontrolleres av en taktekker dersom det skal beholdes. Dersom taket er dårlig varmeisolert, bør det også vurderes etterisolering.

<sup>3</sup> Grønne tak krever vedlikehold og det kan da samtidig være behov for å etablere fallsikring på taket.

## 2.5 Innhenting av dokumentasjon på eksisterende konstruksjon

Dersom resultatet av gjennomgang av sjekkpunkter i [kapittel 2.4](#) viser at etablering av grønt tak vil være mulig, kan byggeier selv bidra med å fremskaffe konstruksjonstegninger og/eller -beregninger. Dette er underlag som er viktig for å kunne vurdere kapasitet og bæreevne for eksisterende konstruksjoner.

### 2.5.1 Underlag som bør fremskaffes

- Konstruksjonstegninger som viser:
  - Bærende strukturer i selve takkonstruksjonen
  - Alle strukturer som bærer takkonstruksjonen (gjelder også søyler, bjelker og vegger under selve takkonstruksjonen)
- Konstruksjonsberegninger som viser:
  - Beregninger som dokumenterer kapasitet for takkonstruksjon og underliggende strukturer som bærer takkonstruksjonen.

### 2.5.2 Tegnings- og beregningsunderlag

Tegnings- og beregningsunderlag som beskriver takkonstruksjonen og underliggende konstruksjoner kan fremskaffes på følgende måter:

- a) FDV-dokumentasjonen for bygget
- b) Kommunens byggesaksarkiv
- c) Statlige og andre offentlige arkiv
- d) Tegninger fra ansvarlig prosjekterende (om mulig)
- e) Eiendomsforvaltere, borettslag, sameier etc.
- f) Annet, som tidligere eier, leietaker eller entreprenører, håndverkere og utstyrsleverandører som har utført arbeider på bygget.

#### **FDV-dokumentasjon**

FDV-dokumentasjon er grunnlag for forvaltning, drift og vedlikehold eller bruksanvisning for bygningen. Når et byggverk tas i bruk skal det foreligge FDV-dokumentasjon som gir tilstrekkelig informasjon for å kunne drifte byggverket med tekniske installasjoner på en god måte. Slik dokumentasjon vil også være nødvendig for å kunne gjøre tilpasninger på grunn av ombygninger og endringer i bruken som kan oppstå over tid.

#### **Kommunens byggesaksarkiv**

Kommunens byggesaksarkiv inneholder for nyere bygg både korrespondanse, saksdokumenter med ulike vedtak og tegninger for bygget. De fleste kommuner har digitalisert tilgang til tegninger og dokumenter, men det er noe varierende hvordan dette gjøres. Noen kommuner har en digital bestillingstjeneste der man kan bestille tegninger, dette kan også være en betalingstjeneste. Merk også at for noen kommuner kan det være separate arkiv for henholdsvis byggesak og tegninger, og et annet for statiske beregninger og dokumentasjon av dimensjonering. Det kan derfor være lurt å rådføre seg med kommunen og spesifisere hva man er ute etter. Noen kommuner, som Oslo kommune, har digitalisert sitt arkiv. Her kan man finne kart og opplysninger som reguleringsplaner, vernestatus, med mer. Det ligger tegninger og byggesaksdokumenter tilgjengelig. Det kan være opplysninger om spesielle forhold, som om bygget inneholder tilfluktsrom og om sivilforsvaret har vært

inne i saken. Av tegninger ligger ofte plan, snitt og fasader tilgjengelig. Vedrørende statiske beregninger og detaljer som armeringstegninger, så ligger disse stort sett ikke tilgjengelig. Man må da søke i arkivet etter rådgivere som har hatt ansvarsrett på prosjektet og kontakte disse. Ved å logge seg inn via bank-id kan man få direkte tilgang til byggesaksarkiv og dokumenter.

#### Eksempel på søk i Oslo kommunes arkiv:

Man kan søke på: kart Oslo kommune, eller gå inn på <https://www.oslo.kommune.no/plan-bygg-og-eiendom/kart-og-eiendomsinformasjon/#gref>

Her er det flere valgmuligheter for å finne informasjon om din eiendom.

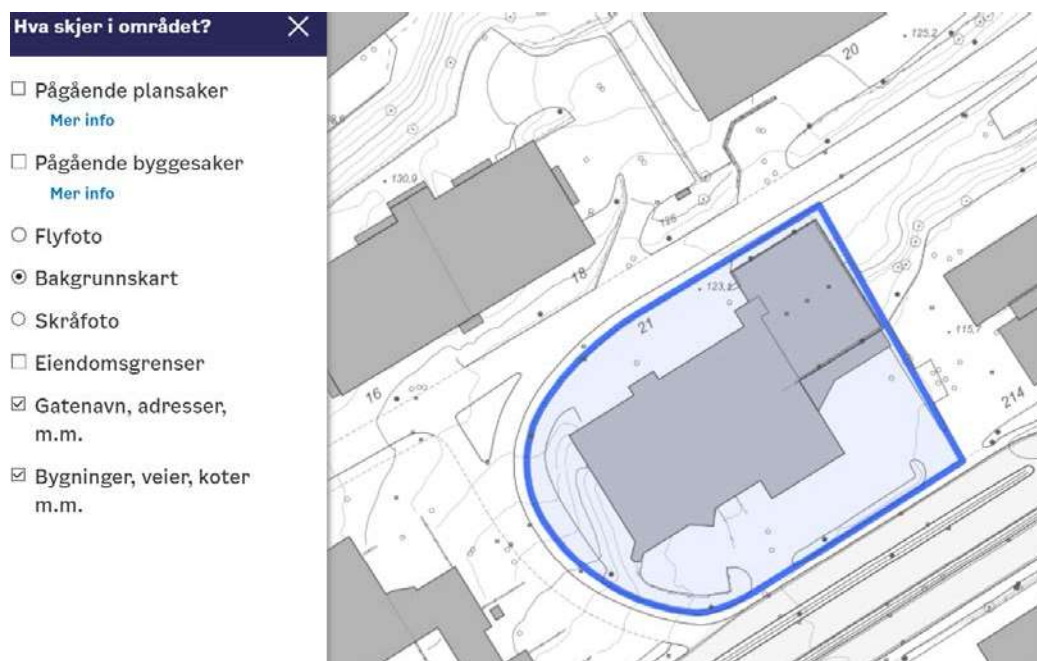


The screenshot shows two panels. The left panel has two main sections: 'Hva gjelder for eiendommen' (What applies to the property) with sub-points 'Reguleringsplaner, finn størrelse, gårdsnummer og bruksnummer.' and 'Tegninger og ferdigattester' with sub-points 'Tegninger og ferdigattester finner du i husøssakene. Søk nå din eiendom.' The right panel is titled 'Hva gjelder for eiendommen?' and contains the text 'Se hvilke reguleringsplaner og kart som gjelder for en eiendom, og som kan påvirke en byggesak.' Below this is a section 'Eiendom' with the instruction 'Skriv inn adresse eller gårds/bruksnummer.' and a search box containing 'Drammensveien 78' and a 'Finn adresse' button.

**Figur 2.6** Eksempel på søk i database fra Oslo kommune

Klikk deg inn på «hva gjelder for eiendommen» og søk opp adresse.

Du får da opp eiendomsinformasjon med blant kartutsnitt med høydekoter. I tillegg inneholder siden annen informasjon som reguleringsplaner, vernestatus med mer.



**Figur 2.7** Kart over eiendom med høydekoter. Her kommer det frem at eiendommen ligger 122 m.o.h.

For å finne tegninger og detaljopplysninger om selve bygningen går man inn på «tegninger og ferdigattester for eiendommen» og søker opp adresse, se utsnitt i [figur 2.8](#).

## Søkeresultat

Finn saker og reguleringskart. Søk på adresse, saksnummer eller gårds- og bruksnummer.

[Avansert søk](#)

Du har søkt på fritext: **Drammensveien og 78**

● = Disse sakene abonnerer du på.

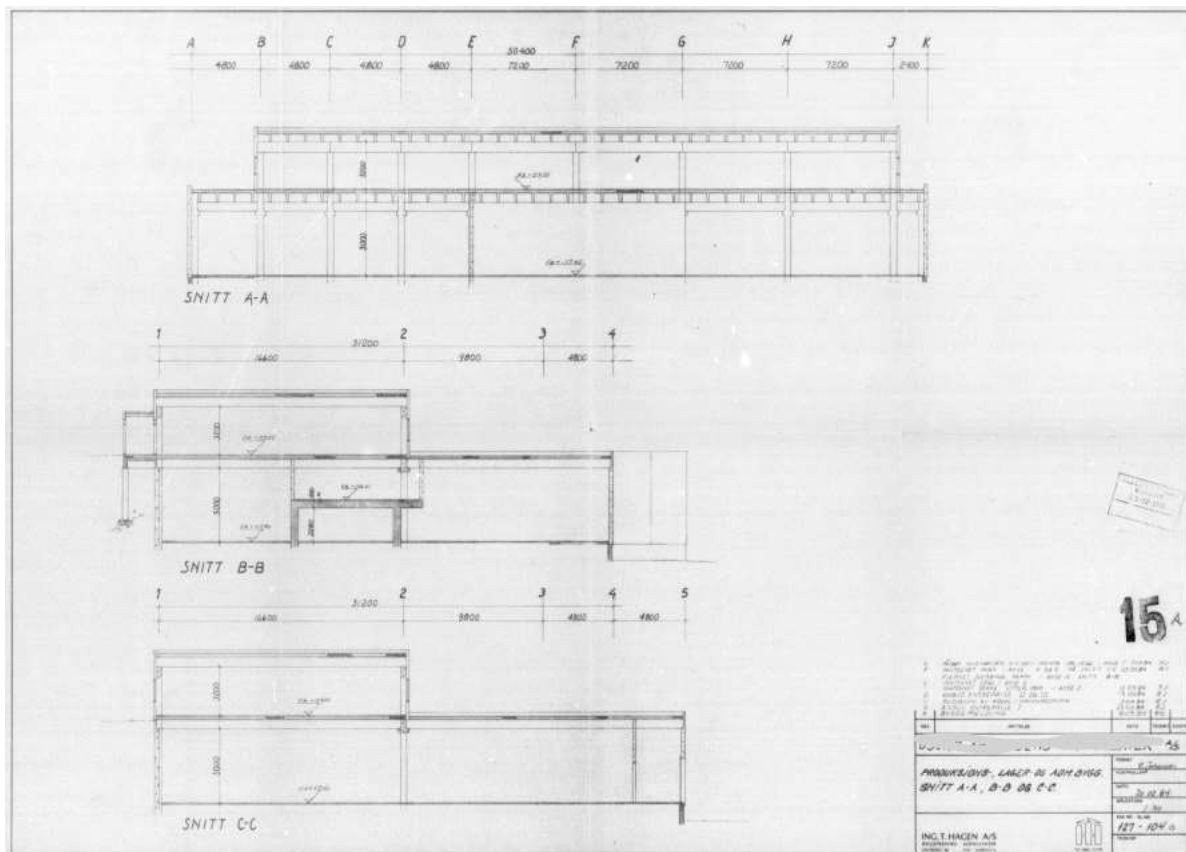
| Saksnummer | Tittel                                                                                      | Status                   |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 202316567  | Drammensveien 78 - Dispensasjon for felling av sykt almetre                                 | Avsluttet                |
| 201810404  | Drammensveien 78 - Oppgradering av forelesningssal og nytt ventilasjonsanlegg               | Siste dok.<br>26.08.2020 |
| 201809413  | Drammensveien 78 - Oppgradering av forelesningssal og nytt ventilasjonsanlegg - Sak trukket | Avsluttet                |
| 201709536  | Drammensveien 78 - Montering av heis                                                        | Siste dok.<br>07.12.2019 |

**Figur 2.8** Eksempel på søk i Oslo Kommune sine nettsider - informasjon om alle saker som angår eiendommen blir listet opp

Ved å klikke seg inn på den enkelte byggesak knyttet til eiendommen kan man få tilgang til tegninger i PDF format som er lagret på saken. Dette krever innlogging med bank-id. Det kan i mange tilfeller være tilgjengelige tegninger for lang tid tilbake. Man kan også få en oversikt over historikk, ombygginger med mer ved å laste ned tegninger og dokumentasjon for byggesaker knyttet til bygningen.

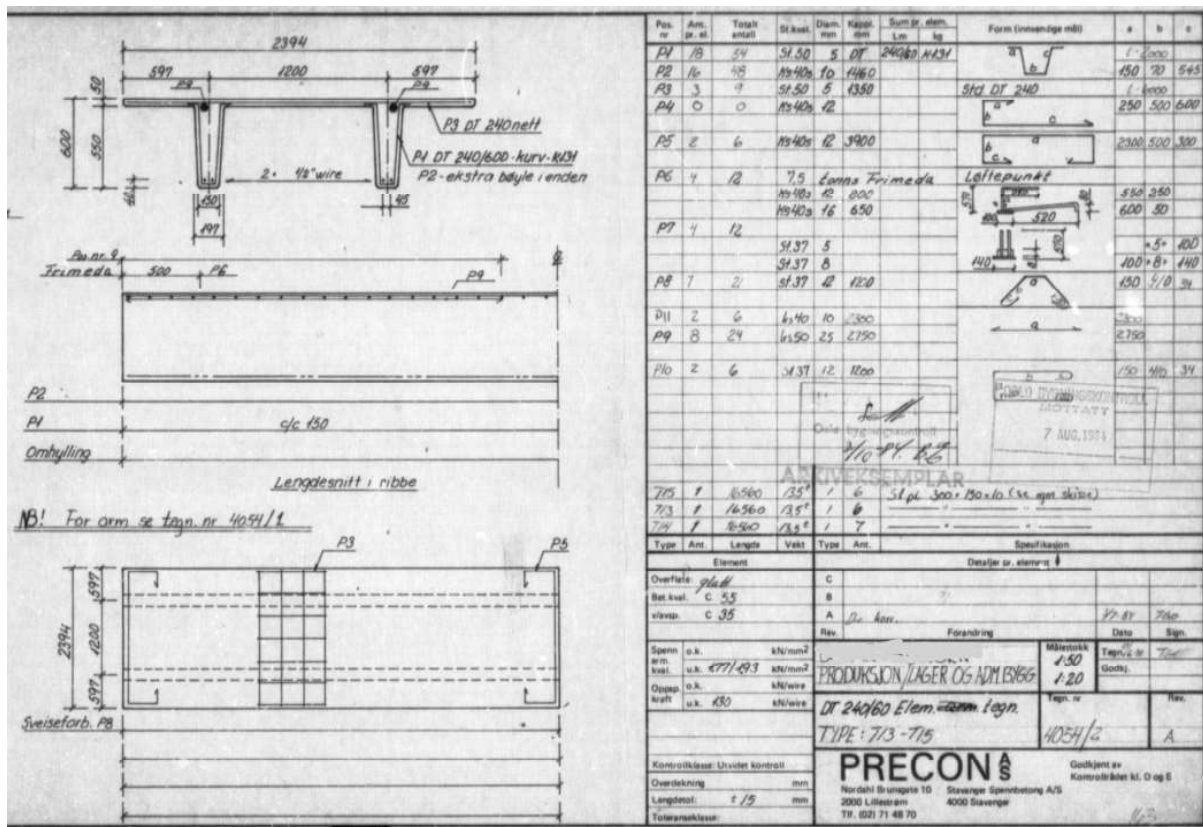
Tegning på [figur 2.9](#), er en snittegning og et godt eksempel på tegning som er nyttig for å få en oversikt over byggets bæresystem. [Figur 2.10](#) og [2.11](#) viser hhv fasadeoppriss og konstruksjonstegning av et betongdekket som typisk kan være bæring i en takkonstruksjon.





Figur 2.9 Eksempel på tegning fra arkiv – snitt gjennom bæresystem





**Figur 2.11** Eksempel på tegning fra arkiv – Konstruksjonstegning betongelement

### **Statlige og andre offentlige arkiv**

For eldre bygninger kan det være mangelfull dokumentasjon og tegninger. Det kan være begrenset hva som finnes i kommunens byggesaksarkiv. Men det kan være andre arkiver som inneholder tegninger og verdifull informasjon over bygget.

- *Statsarkivet* kan inneholde relevante opplysninger om bygget. Disse kan stamme fra bl.a. Norges brannkasse. Denne ble etablert i 1766. Branntakstene, som ble avholdt ved nybygging og senere hvert 10. år, kan gi opplysninger om materialer og konstruksjoner. Branntakstprotokollene skal være arkivert i statsarkivene. Det kan være vanskelig å finne tilbake i gamle takster fordi nummereringen av bygninger har variert gjennom tidene. Merk at statsarkivene har gjerne nøkler som kan konvertere dagens gateadresse til tidligere matrikelnumre.
- *Riksarkivet* inneholder dokumentasjon for embetsgårder, som eksempel prestegårder. Ved skifte av bruker eller forvalter ble det for disse byggene foretatt en tilstandsregistrering, en åbotstakst. Dette kan være detaljert dokumentasjon.
- *GAB-REGISTERET* (Grunneiendom-Adresse-Bygning) finnes hos Statens kartverk. Dette registeret inneholder opplysninger om gårds- og bruksnummer, eiere m.m. Kan også inneholde opplysninger om konstruksjoner.
- *SEFRAK-registeret* drives av fylkeskommunene og er et register over kulturminner i Norge. Dersom du trenger opplysninger om et SEFRAK-bygg ta kontakt med teknisk etat i kommunen eller byantikvaren i de byene som har det. For bygninger eldre enn 1850 er det spesielle vernehensyn som fylkeskommunen håndhever. Fylkeskommunen kan da ha opplysninger om disse.

### **Ansvarlig prosjekterende**

Arkitekt, rådgivende ingeniør, entreprenør som har vært med i byggeprosessen har ofte informasjon i sine arkiver. Omfanget og hvor lenge firmaene arkiverer tegninger og beskrivelser, varierer.

### **Eiendomsforvaltere, borettslag, sameier etc.**

Større eiendomsforvaltere, borettslag, boligsameier og liknende har som regel egne arkiver med tegninger og beskrivelser. Huseiere og brukere av bygget kan og ha opplysninger og tegninger. Det samme gjelder driftsansvarlig, vaktmester eller håndverkere og utstyrsleverandører for bygget.

### **Håndverkere eller andre som har utført arbeid på bygget**

Tidligere eier, leietaker eller entreprenører, håndverkere og utstyrsleverandører som har utført arbeider på bygget, kan ha relevant informasjon som tegninger og produktinformasjon. Det kan ha vært utført arbeider på eldre bygg som ikke er søknadspliktige, som innvendige arbeider, det kan da være at det er utarbeidet tegninger og beskrivelser som ikke har vært sent inn til kommunen og arkivert der.

### 2.5.3 Dersom tegninger ikke kan fremskaffes

Dersom tegninger ikke kan fremskaffes må byggets konstruksjon kartlegges.

Byggforskseriens anvisning i byggforvaltningsserien 720.612 *Oppbygging av konstruksjoner. Kartlegging og undersøkelse* [3.12], gir råd om hvordan man går frem for å kartlegge hvordan en eksisterende konstruksjon er bygd opp og hvilke materialer den består av. Byggforvaltningsserien har også anvisninger som beskriver metode for tilstandsanalyser, f.eks. 700.305 *Tilstandsanalyse av bygninger og bygningsdeler* [3.11]. Norsk standard NS 3424 *Tilstandsanalyse av byggverk-innhold og gjennomføring* [1.19], gir også føringer for hvordan en tilstandsanalyse kan utføres.

En innledende undersøkelse av konstruksjoner bør inneholde:

- Byggeår
- Type materiale til bærende konstruksjonselementer (tre/betong/stål), eventuelt med produktnavn/produsent
- Mål, hovedmål bredde, lengde høyde. Dimensjoner på bygningsdeler, tykkelse vegger og tak, høyde og bredde synlige bjelker, og senteravstand bjelker.
- Statisk system med spennlengder og oppleggslengder for bærende konstruksjonselementer
- Tilstand for bærende konstruksjonselementer (råte, korrosjon, etc.)

Her må man også regne med at det kan bli behov for mer omfattende undersøkelser der deler av bygget blir åpnet opp for å undersøke underliggende konstruksjoner. Det kan være lurt å konferere med rådgivende ingeniør før dette gjøres slik at det blir åpnet og undersøkt på relevante steder for en mest mulig nøyaktig kartlegging og tilstandsanalyse.

## 3 KARTLEGGING AV BELASTNINGSSITUASJON - LASTTILFELLER

### 3.1 Formål

For alle eksisterende tak hvor det er ønskelig å etablere grønt tak er det hensiktsmessig å beregne og vurdere netto lastøkning i en tidlig fase av prosjektet. Dette vil si noe om hvor mye taket reelt vil få av økt permanent- og variabel belastning, samt hva som må hensyntas ved beregning og dokumentasjon av bæreevne og stivhet i eksisterende bærekonstruksjoner.

Formålet ved kartlegging av belastningssituasjonen for taket er å bestemme:

- belastningssituasjon for taket før etablering av grønn takoppbygging
- belastningssituasjon for taket etter etablering av grønn takoppbygging

I denne kartleggingen inngår egenlaster, nyttelaster og snølaster. I tillegg må også vindlaster vurderes og beregnes for endelig løsning, men dette vil i mindre grad være styrende for takets bæreevne, med unntak av tilfeller der vindlastene er av en slik størrelse at det kreves sikring av grønn takoppbygging ved bruk av ballast, se [kapittel 3.4](#).

Den relative endringen (økningen) av belastningen (%) på taket fra før til etter etablering av grønn takoppbygging vil si mye om hvorvidt det er realistisk å etablere grønt tak på hele, eller deler av takkonstruksjonen som betraktes, ev. hvilken kategori (tyngde) av grønn takoppbygging som kan være mulig, uten krav til betydelige forsterkningstiltak av eksisterende bærekonstruksjoner.

Merk at denne kartleggingen av belastningssituasjonen kan utføres både før- og etter at tilstanden og bæreevnen til taket er vurdert, se hhv. [kapittel 2.5](#) og [5](#). Dvs. at man ikke er avhengig av å ha beregnet eller vurdert takets bæreevne før man gjør kartlegging av belastningssituasjonen. Ofte vil det være hensiktsmessig å kartlegge belastningssituasjonen, herunder vurdere hvilke netto endring av belastningen en gitt planlagt grønn takløsning medfører, selv om man ikke har oversikt over takets detaljerte oppbygging og bæreevne.

Endring fra eksisterende til ny belastningssituasjon vil uansett gi direkte svar på hvor stor grad av overkapasitet i bæreevne man ev. må ha i eksisterende bærekonstruksjon (primært dekkekonstruksjonen) for dagens belastningssituasjon, for å tilfredsstille planlagt ny grønn takoppbygging, inkl. ev. endring av nytte- og snølaster som taket må beregnes for.

[Figur 3.1](#) viser hvilke lag i takkonstruksjonen som potensielt inngår i kartleggingen av takets egenvekt, herunder fra både selve takkonstruksjonen (lag A) og ny grønn takoppbygging (lag B).

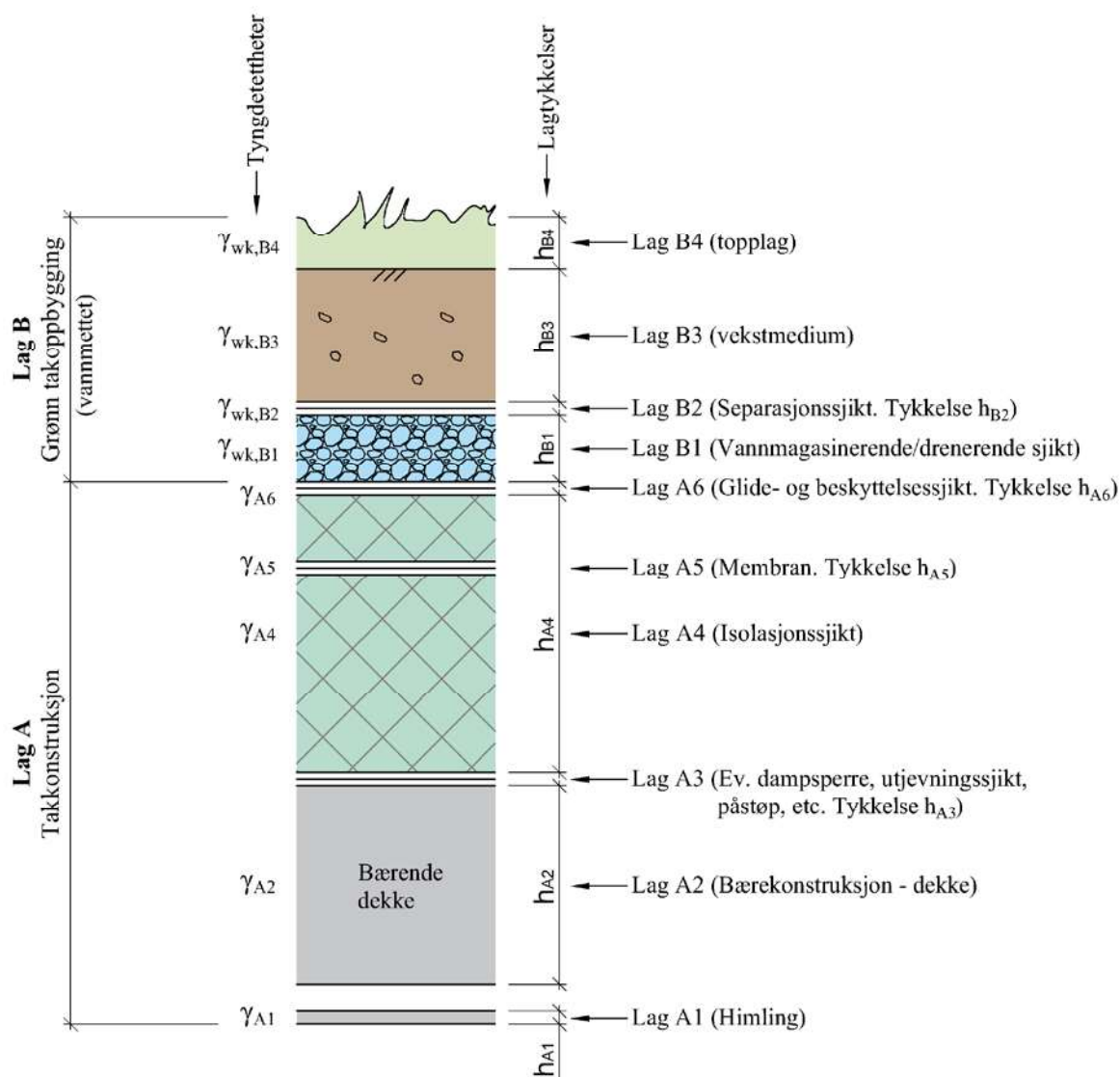
[Figur 3.2](#) viser også skjematisk hvilke lag som inngår i kartleggingen, inkl. tilhørende lasttilfeller.

Se [kapittel 3.2](#) for bestemmelse av permanente egenlaster,  $g_{Ek,A}$ , for alle sjikt i **lag A** (himling, bærekonstruksjon, etc.) på [figur 3.1](#) og [figur 3.2](#).

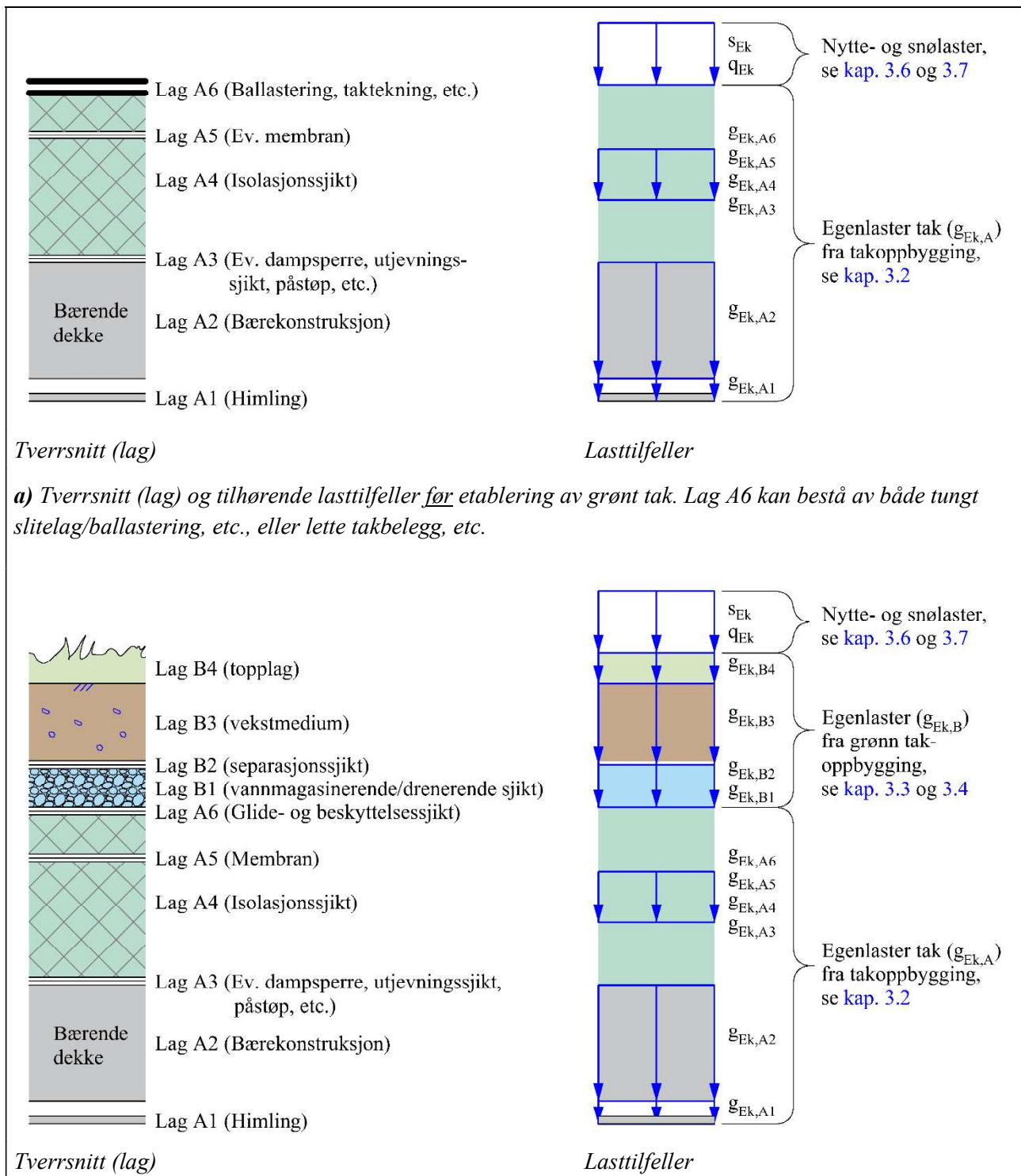
Se [kapittel 3.3](#) og [3.4](#) for bestemmelse av permanente egenlaster,  $g_{Ek,B}$ , for alle sjikt i **lag B** (grønn takoppbygging) på [figur 3.1](#) og [figur 3.2](#).

Se [kapittel 3.6](#) og [3.7](#) for bestemmelse av hhv. variable nytte- og snølaster,  $q_{Ek}$  og  $s_{Ek}$ , markert på [figur 3.2](#).





**Figur 3.1** Skjematisk snitt gjennom takkonstruksjon (lag A) og grønn takoppbygging (lag B), inklusive markering av lagtykkelser ( $h$ ) og tyngdetettheter ( $\gamma$ ) for hvert enkelt lag.



**Figur 3.2** Skjematiske snitt gjennom takkonstruksjon (lag A) og grønn takoppbygging (lag B), inklusive definering av tilhørende lasttilfeller (egenlaster, nyttelaster og snølast), hhv. a) før og b) etter etablering av grønt tak

## 3.2 Egenlaster for takkonstruksjoner

### 3.2.1 Metode – Beregning av karakteristisk egenlast, $g_{Ek,A}$ , fra takkonstruksjon

For et eksisterende tak, hvor det skal etableres grønn takoppbygging, må egenlastene for taket bestemmes, herunder:

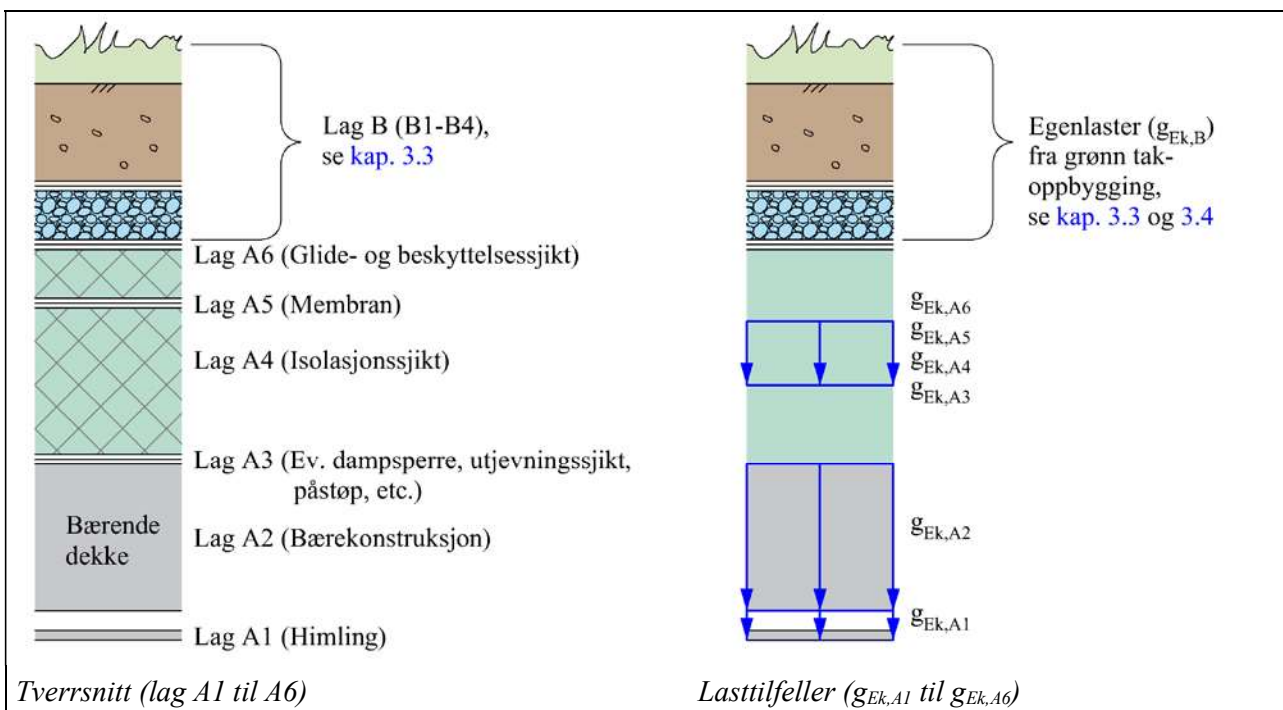
- Egenlasten for taket før ombygging og etablering av grønn takoppbygging
- Egenlasten for taket etter ombygging og etablering av grønn takoppbygging

I egenlastene inngår alt fra himling under bærekonstruksjonen, selve bærekonstruksjonen og oppbyggingen over bærekonstruksjonen. For bestemmelse av egenlast fra grønn takoppbygging, se [kapittel 3.3](#).

I enkelte tilfeller vil det være relevant at taket benyttes til andre formål ved etablering av grønt tak, f.eks. ved at det installeres solcelleanlegg, etc. Dette vil, sammen med den grønne takoppbyggingen, bidra til endring av de påførte egenlastene på takets overside. Spesielle laster fra denne type permanente- og/eller midlertidige installasjoner må beregnes i hvert enkelt tilfelle, og er ikke særskilt omhandlet i denne veilederen, ut over det som fremgår i [kapittel 3.5](#).

[Figur 3.3](#) viser skjematisk hvilke lag (A1 til A6) og tilhørende karakteristiske egenlaster ( $g_{Ek,A1}$  til  $g_{Ek,A6}$ ) som potensielt inngår i en takkonstruksjon.

For å bestemme egenlast for alle lagene (A1 til A6) i en eksisterende takkonstruksjon trenger man tyngdetetthet og volum (tykkelse) for byggematerialene, eller egenlaster for byggevarene som er benyttet. For en takkonstruksjon vil det ofte være egenlasten av selve bærekonstruksjonen (dekket),  $g_{Ek,A2}$  på [figur 3.3](#), som bidrar til den største lastandelen. Oversikt over aktuelle tyngdetettheter og egenlaster fremgår i [tabell 3.1](#).



**Figur 3.3** Skjematisk snitt gjennom takkonstruksjon, inkl. markering av lag A1 til A6 og tilhørende lasttilfeller  $g_{Ek,A1}$  til  $g_{Ek,A6}$ . For lagstykkelser ( $h$ ) og tyngdetettheter ( $\gamma$ ) for hvert enkelt lag, se [figur 3.1](#).

For en mer detaljert beregning kan man benytte verdier angitt av produsentene for det enkelte fabrikatet, dersom dette er kjent. I [vedlegg A](#) er det også angitt egenlast for typiske sammensatte takkonstruksjoner (med flere sjikt) som kan brukes til overslagsberegninger, ref. *Byggforskseriens anvisning 471. 031* [\[3.1\]](#).

Karakteristisk jevnt fordelt egenlast ( $g_{Ek,A}$ ) for ulike lag er direkte angitt i [tabell 3.1](#). Avhengig av lagsoppbyggingen i takkonstruksjonen (lag A1 til A6) vil det som alternativ ofte være hensiktsmessig å bestemmes den karakteristiske egenlasten ( $g_{Ek,A}$ ) for de ulike lagene (lag A1 til A6) iht. uttrykk [\(3-1\)](#), basert på karakteristisk tyngdetetthet ( $\gamma_A$ ) og lagstykkelser ( $h_A$ ), der karakteristisk tyngdetetthet ( $\gamma_A$ ) også fremgår i [tabell 3.1](#) for de mest aktuelle lagstypene.

For omvendt tak og duotak (se [kapittel 2.1.1](#)) tar ikke denne veilederen spesielle hensyn mht. potensielt økte egenlast for sjiktene i takoppbyggingen som ligger over membranen. F.eks. vil egenlasten kunne øke marginalt pga. potensiell "vannlagring" i isolasjonssjiktet (lag A4). En marginal lastøkning pga. vannlagring i isolasjonssjikt over membranen kan normalt forutsettes å være dekket opp av konservativ beregning av vannlast i den grønne takoppbygging, se [kapittel 3.3](#).

|                                       |                                        |                      |       |
|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|-------|
| Glide- og beskyttelsessjikt (lag A6): | $g_{Ek,A6} = h_{A6} \cdot \gamma_{A6}$ | [kN/m <sup>2</sup> ] | (3-1) |
| Membran (lag A5):                     | $g_{Ek,A5} = h_{A5} \cdot \gamma_{A5}$ | [kN/m <sup>2</sup> ] |       |
| Isolasjonssjikt (lag A4):             | $g_{Ek,A4} = h_{A4} \cdot \gamma_{A4}$ | [kN/m <sup>2</sup> ] |       |
| Utjevningssjikt, etc. (lag A3):       | $g_{Ek,A3} = h_{A3} \cdot \gamma_{A3}$ | [kN/m <sup>2</sup> ] |       |
| Bærekonstruksjon (lag A2):            | $g_{Ek,A2} = h_{A2} \cdot \gamma_{A2}$ | [kN/m <sup>2</sup> ] |       |
| Himling (lag A1):                     | $g_{Ek,A1} = h_{A1} \cdot \gamma_{A1}$ | [kN/m <sup>2</sup> ] |       |

Hvor:

|               |                                                                                              |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\gamma_{A6}$ | = Karakteristisk tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ] for glide- og beskyttelsessjikt (lag A6) |
| $\gamma_{A5}$ | = Karakteristisk tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ] for membran (lag A5)                     |
| $\gamma_{A4}$ | = Karakteristisk tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ] for isolasjonssjikt (lag A4)             |
| $\gamma_{A3}$ | = Karakteristisk tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ] for utjevningssjikt, etc. (lag A3)       |
| $\gamma_{A2}$ | = Karakteristisk tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ] for bærekonstruksjon (lag A2)            |
| $\gamma_{A1}$ | = Karakteristisk tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ] for himling (lag A1)                     |
| $h_{A6}$      | = Tykkelse [m] for glide- og beskyttelsessjikt (lag A6)                                      |
| $h_{A5}$      | = Tykkelse [m] for membran (lag A5)                                                          |
| $h_{A4}$      | = Tykkelse [m] for isolasjonssjikt (lag A4)                                                  |
| $h_{A3}$      | = Tykkelse [m] for utjevningssjikt, etc. (lag A3)                                            |
| $h_{A2}$      | = Tykkelse [m] for bærekonstruksjon (lag A2)                                                 |
| $h_{A1}$      | = Tykkelse [m] for himling (lag A1)                                                          |

**Tabell 3.1** Karakteristisk tyngdetetthet og karakteristisk jevnt fordelt egenlast for lag A1 til A6 på [figur 3.3](#) (oppgitt for tørr tilstand). Verdiene er delvis hentet fra informasjon fra produsenter og delvis fra Byggforskseriens Anvisning 471.031 [3.1]

| Tverrsnitt / lag                                                   | Karakteristisk tyngdetetthet<br>$\gamma_A$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | Karakteristisk jevnt fordelt egenlast<br>$g_{Ek,A}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Lag A6, A5, A3 – Ballastering, sperresjikt, membraner, etc.</b> |                                                                    |                                                                             |
| Asfalt takbelegg, et lag (3,7 – 4,4 mm)                            | -                                                                  | 0,05                                                                        |
| Asfalt takbelegg, to lag                                           | -                                                                  | 0,09                                                                        |
| Asfalt takbelegg, tre lag                                          | -                                                                  | 0,12                                                                        |
| Takfolie av plast/gummi, et lag (1,2 – 2,4 mm)                     | -                                                                  | 0,02 – 0,03                                                                 |
| Asfaltshingel (3 – 4 mm)                                           | -                                                                  | 0,05                                                                        |
| Asfaltshingel med asfaltundertaksbelegg                            | -                                                                  | 0,11                                                                        |
| Dampspærre (0,2 mm)                                                | -                                                                  | 0,002                                                                       |
| Vindspærreduk                                                      | -                                                                  | 0,002                                                                       |
| Korrugerte stålplater og takpanner (0,4 – 1,0 mm)                  | 78,5                                                               | 0,04 – 0,13                                                                 |
| Korrugerte aluminiumsplater til tekning (0,4 – 0,9 mm)             | 27                                                                 | 0,02 – 0,04                                                                 |
| Takstein av betong eller tegl                                      | -                                                                  | 0,50                                                                        |
| <b>Lag A4 - Isolasjonssjikt</b>                                    |                                                                    |                                                                             |
| Ekspandert polystyren (EPS), standard                              | 0,2 – 0,5                                                          | -                                                                           |
| Ekstrudert polystyren (XPS), standard                              | 0,3 – 0,5                                                          | -                                                                           |
| Steinull, lett bygningskvalitet                                    | 0,3                                                                | -                                                                           |
| Steinull, tunge plater                                             | 0,7 – 1,8                                                          | -                                                                           |
| Glassull, lett bygningskvalitet                                    | 0,2                                                                | -                                                                           |
| <b>Lag A2 - Bærekonstruksjon</b>                                   |                                                                    |                                                                             |
| Plasstøpt betong – uarmert                                         | 24                                                                 | -                                                                           |
| Plasstøpt betong – armert                                          | 25                                                                 | -                                                                           |
| -150 mm dekketykkelse                                              | -                                                                  | 3,75                                                                        |
| -200 mm dekketykkelse                                              | -                                                                  | 5,00                                                                        |
| -250 mm dekketykkelse                                              | -                                                                  | 6,25                                                                        |
| Hulldekkeelementer (HD-elementer):                                 |                                                                    |                                                                             |
| -HD 200                                                            | -                                                                  | 2,46                                                                        |
| -HD 265                                                            | -                                                                  | 3,67                                                                        |
| -HD 320                                                            | -                                                                  | 4,04                                                                        |
| -HD 400                                                            | -                                                                  | 4,94                                                                        |
| -HD 500                                                            | -                                                                  | 6,64                                                                        |

|                                                     |            |             |
|-----------------------------------------------------|------------|-------------|
| Porebetongelementer, tak                            | 5,8        | -           |
| Lettklinkerbetong, byggplank                        | 9,0 – 12,0 | -           |
| -200 mm byggplank, typisk verdi                     | -          | 1,8         |
| -250 mm byggplank, typisk verdi                     | -          | 2,7         |
| Korrugerte bærende stålplatetak (0,6 – 1,5 mm)      | -          | 0,08 – 0,20 |
| Massivtre                                           | 5,0        | -           |
| -150 mm dekketykkelse                               | -          | 0,75        |
| -200 mm dekketykkelse                               | -          | 1,00        |
| -250 mm dekketykkelse                               | -          | 1,25        |
| Stålbjelker                                         | 78,5       | -           |
| Konstruksjonstre (bjelker)                          | 5,0        | -           |
| Limtrebjelker                                       | 4,7        | -           |
| <b>Lag A1 - Himling</b>                             |            |             |
| Systemer basert på aluminium og ev. lett mineralull | -          | 0,03        |
| Systemer basert på skinner og steinull              | -          | 0,04        |
| Systemer basert på gipsplater, treullsement, o.l.   | -          | 0,15        |
| Sponplater, 12 mm                                   | 7,0 – 8,0  | 0,09        |
| Trefiberplater, harde                               | 10,0       | -           |
| Trefiberplater, halvharde                           | 8,0        | -           |
| Trefiberplater, porøse                              | 4,0        | -           |
| Kryssfiner av gran, furu                            | 5,0        | -           |
| Kryssfiner av bjørk                                 | 7,0        | -           |
| Trepanel av gran eller furu                         | 5,0        | -           |
| Gipsplate, 13 mm                                    | -          | 0,09        |
| Fibergips                                           | 11,5       | -           |



### 3.2.2 Eksempel – Beregning av karakteristisk egenlast, $g_{Ek,A}$ , fra takkonstruksjon

Vi skal bestemme karakteristisk egenlast ( $g_{Ek,A}$ ) fra himling (lag A1), bærekonstruksjon (lag A2), isolasjonssjikt (lag A4) og diverse glidesjikt, membraner, etc. (lag A3, A5 og A6) for takkonstruksjonen vist på figur 3.3. I eksempelet er det vist to ulike tilfeller (eksempler) for bærekonstruksjon (lag A2), hhv. *eksempel 1* med en lett konstruksjon av massivtre og *eksempel 2* med en tung konstruksjon av plasstøpt armert betong.

Beregningene foretas iht. uttrykk (3-1) og valg av tverrsnittoppbygging (lag A) fra tabell 3.1.

Følgende takoppbygging antas for eksisterende takkonstruksjon (lik før og etter etablering av grønt tak):

Sperresjikt, membraner (lag A6, A5, A3):

Asfalttakbelegg:

Egenlast:  $g_{Ek,A6} + g_{Ek,A5} + g_{Ek,A3} = (0,05 + 0,05 + 0,05) \text{ kN/m}^2 = 0,15 \text{ kN/m}^2 *$

Isolasjonsmateriale (lag A4):

XPS:

Tyngdetetthet:  $\gamma_{A4} = 0,50 \text{ kN/m}^3 *$

Tykkelse:  $h_{A4} = 0,25 \text{ m}$

Bærekonstruksjon (lag A2):

*Eksempel 1* – Lett bærekonstruksjon:

Massivtrelement:

Tyngdetetthet:  $\gamma_{A2} = 5,0 \text{ kN/m}^3 *$

Tykkelse:  $h_{A2} = 0,25 \text{ m}$

*Eksempel 2* – Tung bærekonstruksjon:

Plasstøpt armert betongdekke:

Tyngdetetthet:  $\gamma_{A2} = 25,0 \text{ kN/m}^3 *$

Tykkelse:  $h_{A2} = 0,25 \text{ m}$

Himling (lag A1):

Systemer basert på gipsplater:

Egenlast:  $g_{Ek,A1} = 0,15 \text{ kN/m}^2 *$

\* Tyngdetettheter,  $\gamma_A$ , og karakteristiske egenlast,  $g_{Ek,A}$ , se tabell 3.1

Karakteristiske egenlast for sjiktene i eksisterende takkonstruksjon beregnes iht. uttrykk (3-1):

Sperresjikt, membraner (lag A6, A5, A3):  $g_{Ek,A6} + g_{Ek,A5} + g_{Ek,A3} = 0,15 \text{ kN/m}^2$

Isolasjonsmateriale (lag A4):  $g_{Ek,A4} = h_{A4} \cdot \gamma_{A4} = 0,25 \text{ m} \cdot 0,50 \text{ kN/m}^3 \approx 0,12 \text{ kN/m}^2$

Bærekonstruksjon (lag A2) – Lett:  $g_{Ek,A2} = h_{A2} \cdot \gamma_{A2} = 0,25 \text{ m} \cdot 5,0 \text{ kN/m}^3 \approx 1,25 \text{ kN/m}^2$

Bærekonstruksjon (lag A2) – Tung:  $g_{Ek,A2} = h_{A2} \cdot \gamma_{A2} = 0,25 \text{ m} \cdot 25,0 \text{ kN/m}^3 \approx 6,25 \text{ kN/m}^2$

Himling (lag A1):  $g_{Ek,A1} = \approx 0,15 \text{ kN/m}^2$

Sum: *Eksempel 1* – Lett bærekonstruksjon:  $g_{Ek,A} \approx 1,65 \text{ kN/m}^2$

*Eksempel 2* – Tung bærekonstruksjon:  $g_{Ek,A} \approx 6,65 \text{ kN/m}^2$

Sum:  $h_A = 0,5 \text{ m} + \text{himling}$

Merknader til eksempelet:

- Effekt av lett vs. tung takkonstruksjon

Som vi ser av beregningene, vil egenlasten til den bærende dekkekonstruksjonen (lag A2) kunne utgjøre den største andelen av samlet egenlast for en eksisterende takkonstruksjon. I dette eksempelet tallfestet for et tenkt tilfelle med en relativt lett massivtrekonstruksjon ( $g_{Ek,A2} = 1,25 \text{ kN/m}^2$ ) og et tilfelle med en betydelig tyngre armert plaststøpt betongdekkekonstruksjon ( $g_{Ek,A2} = 6,25 \text{ kN/m}^2$ ). Som vi skal se av videreføringen av dette eksempelet i [kapittel 4](#) så har type bærekonstruksjon, herunder om denne er lett eller tung, direkte betydning for den relative innvirkningen ved etablering av en grønn takoppbygging. En lett bærekonstruksjon må i større grad enn en tyngre bærekonstruksjon, ha relativ overkapasitet i bæreevne og stivhet for opprinnelig lastsituasjon for å kunne ivareta krav til bæreevne og stivhet ved lastøkning som følge av etablering av grønn takoppbygging.

- Effekt av lastreduserende tiltak i lag A

I dette eksempelet er det ikke forutsatt noen lastreduksjon i lag A, dvs. lik egenlast fra lag A1 til A6 på [figur 3.3](#) for opprinnelig takoppbygging sammenlignet med takoppbygging etter etablering av grønt tak. Dette vil i de fleste tilfeller være det vanligste, da egenlasten fra selve bærekonstruksjonen (lag A2) som oftest utgjør den absolutt største egenlastandelen, og at øvrige konstruksjonsdeler, som kan fjernes eller erstattes, bidrar til liten eller neglisjerbar lastendring.

For at man i større grad skal kunne forvente en betydelig lastreduksjon i lag A, som da kompenserer helt- eller delvis for planlagt fremtidig grønn takoppbygging (se [kapittel 3.3](#)), vil det derfor være en forutsetning at det ligger et tyngre lag som kan fjernes fra eksisterende oppbygging. Dette kan i visse tilfeller være aktuelt, ved at eksisterende takoppbygging f.eks. består av følgende elementer:

- Tung himlingsløsning (lag A1) som kan fjernes eller erstattes med en lettere løsning
- Tunge påstøper og/eller avrettingssjikt, takstein, etc. over eksisterende bærekonstruksjon (lag A3 og/eller A6) som kan fjernes

Dersom vi for dette eksempelet f.eks. forutsetter at et eksisterende tungt toppsjikt (lag A6) av f.eks. 50 mm tykk betongpåstøp kan fjernes før etablering av grønt tak, har vi følgende potensiell reduksjon,  $\Delta g_{Ek,A}$ , av karakteristiske egenlaster for sjiktene i eksisterende takkonstruksjon, beregnet iht. uttrykk (3-1):

- Toppsjikt (lag A6):  $\Delta g_{Ek,A6} = h_{A6} \cdot \gamma_{A6} = 0,05 \text{ m} \cdot 24,0 \text{ kN/m}^3 \approx 1,20 \text{ kN/m}^2$

Dette betyr at egenlasten fra lag A (A6) er redusert med  $1,20 \text{ kN/m}^2$  (ca.  $120 \text{ kg/m}^2$ ) i forbindelse med fjerning av 50 mm tykk betongpåstøp før videre klargjøring for ny grønn takoppbygging.

Dvs. en reduksjon av total karakteristisk egenlast (permanent last) fra  $g_{Ek,A} = 6,65 \text{ kN/m}^2$  til  $g_{Ek,A,NY} = g_{Ek,A} - \Delta g_{Ek,A} \approx (6,65 - 1,20) \text{ kN/m}^2 = 5,45 \text{ kN/m}^2$

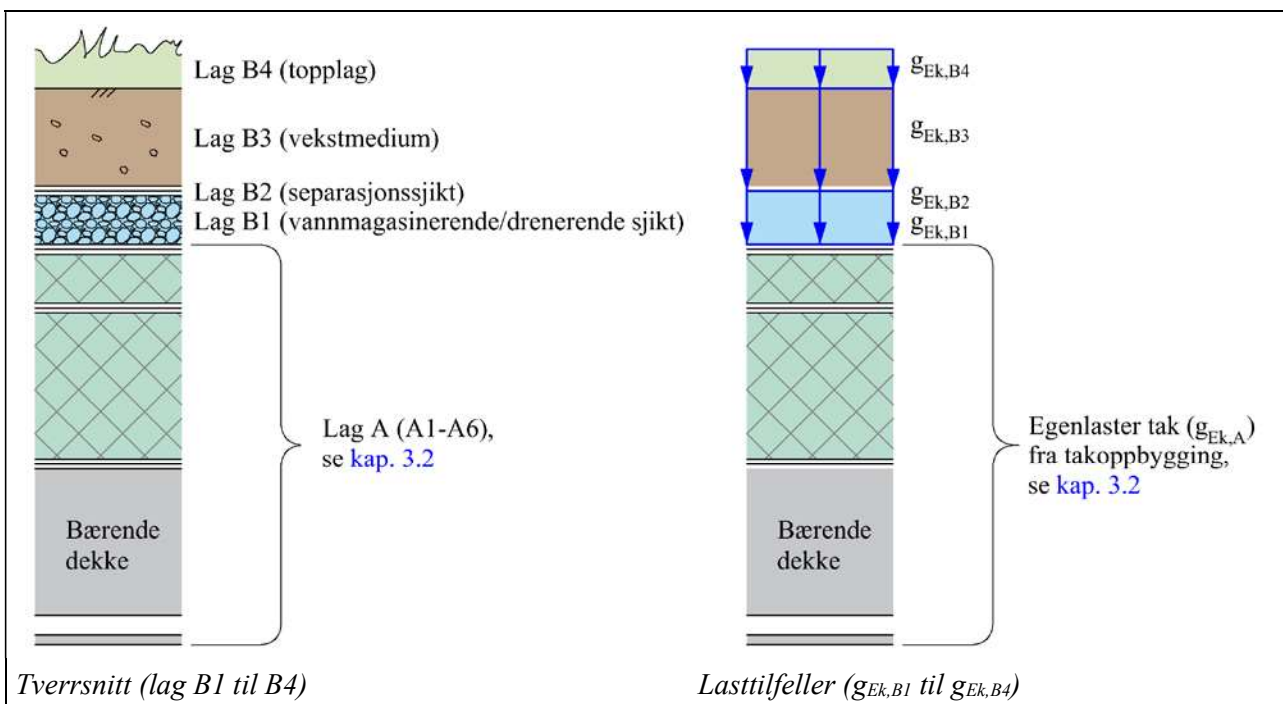
Forutsatt at det ikke er noen økning av andre laster, herunder nytte- og snølast, se [kapittel 3.6](#) og [3.7](#), betyr dette i praksis at man ved en slik tenkt lastreduksjon på  $1,20 \text{ kN/m}^2$  kan forutsette at taket potensielt kan belastes med en grønn takoppbygging (lag B1 – B4 på [figur 3.3](#)), med et samlet bidrag til vannmettet karakteristisk egenlast som er ca.  $1,20 \text{ kN/m}^2$  (ca.  $120 \text{ kg/m}^2$ ), uten at dette gir en netto økt reell belastning på takets bærekonstruksjon.

### 3.3 Egenlaster fra grønn takoppbygging

#### 3.3.1 Metode – Beregning av karakteristisk egenlast, $g_{Ek,B}$ , fra grønn takoppbygging

Egenlasten fra den grønne takoppbyggingen vil kunne variere betydelig, avhengig av hvilken oppbygging som velges mht. laginndeling, tykkelser og materialtyper i hvert enkelt lag.

Figur 3.4 viser skjematisk hvilke lag (B1 til B4), og tilhørende karakteristiske egenlaster ( $g_{Ek,B1}$  til  $g_{Ek,B4}$ ), som potensielt inngår i den grønne takoppbyggingen.



**Figur 3.4** Skjematisk snitt gjennom takkonstruksjon, inkl. markering av lag B1 til B4 og tilhørende lasttilfeller  $g_{Ek,B1}$  til  $g_{Ek,B4}$ . For lagstykkelser ( $h$ ) og tyngdetettheter ( $\gamma$ ) for hvert enkelt lag, se figur 3.1.

**NB!** Iht. pkt. 4.1.1(3) i NS-EN 1990 [1.0] kan laster forårsaket av vann anses som permanente og/eller variable laster, avhengig av hvordan størrelsen på lastene varierer over tid. For et grønt tak vil dette avhenge av klima (nedbør) og strømningshastighet ("flowrate") i taket. Iht. pkt. 4.3.3 i NS 3840 [1.6] skal imidlertid alle takmaterialer over bærekonstruksjonen regnes som permanent egenlast. Topplag (lag B4), vekstmedium (lag B3), separasjonssjikt (lag B2) og vannmagasinerende/drenerende sjikt (lag B1) skal beregnes med full vannmetning (maks vannlagringskapasitet). Dvs. at uavhengig av om det f.eks. etableres et vannmagasinerende eller drenerende sjikt under vekstmediumet, så skal også vekstmediumets- og topplagets egenvekt bestemmes ut fra full vannmagasinerings, der alt tilgjengelig volum er fylt opp med vann, se illustrasjon i figur 3.5 c). Denne veilederen forutsetter at også grønn takoppbygging i skrå tak beregnes tilsvarende, dvs. med full vannmetning i alle sjikt. Leverandøren av aktuelle sjikt har ansvaret for å dokumentere materialenes egenvekter,  $\rho_{wk}$ , i komprimert, vannmettet tilstand. I praksis vil man ha en varierende last (vannlast) pga. ulik grad av vannmetning i topplag, vekstmedium, separasjonssjikt og vannmagasinerende/drenerende sjikt over tid. I forbindelse med lastkombinering skal imidlertid all last fra vann defineres som permanent egenlast iht. denne veilederen (se kapittel 4), noe som da også er iht. krav gitt i pkt. 4.3.3 i NS 3840 [1.6]. Dette forenkler også lastberegningene, samtidig som sannsynligheten for alvorlige

feil, som følge av ev. uteglemlelse av vannlast, reduseres. Konsekvensene av dette valget er først og fremst at beregnet økningen av de permanente lastene i forbindelse med etablering av grønn takoppbygging blir relativt stor, sammenlignet med hva man vil oppnå i praksis, og at de permanente lastene som kombineres i bruksgrensetilstanden (SLS) også blir noe større enn det man vil få i praksis. Fordi vannlasten normalt sett ikke vil være dominerende (snø eller nyttelast dominerende) vil det også være konservativt (til sikker side) å sette høyest mulig andel av vannlasten som permanent egenlast, også mht. beregning av dimensjonerende belastning i bruddgrensetilstanden (ULS), se [kapittel 4](#).

**Figur 3.5** illustrerer massetettheter for et gitt materiale i hhv. a) tørr tilstand, b) stabil fukttilstand og c) full vannmettet tilstand, der c) full vannmettet tilstand er den som benyttes ved lastberegning (permanent egenlast) i denne veilederen. Beregning av massetettheter (bulk) for aktuelle materialer gjøres etter prøving gitt i *FLL* [2.1]. Beregningene utføres som følger:

- a) Massetetthet tørr tilstand, se [figur 3.5 a](#)):  $\rho_{\text{tørr}} = m_{\text{tørr}} / V \quad [\text{kg/m}^3]$
- b) Massetetthet fuktig tilstand, se [figur 3.5 b](#)):  $\rho_f = m_f / V \quad [\text{kg/m}^3]$
- c) Massetetthet full vannmettet tilstand, se [figur 3.5 c](#)):  $\rho_{\text{wk}} = m_{\text{wk}} / V \quad [\text{kg/m}^3]$

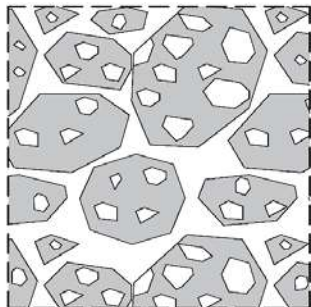
Hvor:

$m_{\text{tørr}}$  = masse [kg] av prøven i tørr tilstand (fullstendig uttørket)

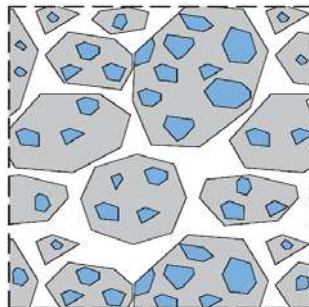
$m_f$  = masse [kg] av prøven i stabil fukttilstand (porer internt i massenes partikler fylt med vann)

$m_{\text{wk}}$  = masse [kg] i full vannmettet tilstand (alt tilgjengelig volum fylt med vann)

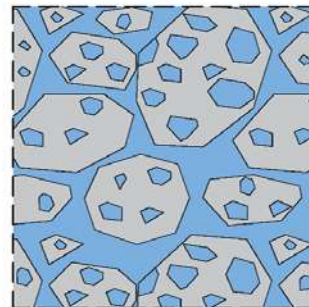
$V$  = volum [ $\text{m}^3$ ] av prøven (komprimert tilstand)



**a)** Tørr tilstand (fullstendig uttørket/ovnstørr).  
Massetetthet,  $\rho_{\text{tørr}} [\text{kg/m}^3]$ .



**b)** Stabil fukttilstand (porer internt i massenes partikler fylt med vann).  
Massetetthet,  $\rho_f [\text{kg/m}^3]$ .



**c)** Full vannmettet tilstand (magasinering).  
Massetetthet,  $\rho_{\text{wk}} [\text{kg/m}^3]$ . Grunnlag for bestemmelse av karakteristisk egenlast ( $g_{\text{Ek,B}}$ ) iht. uttrykk (3-2).

**Figur 3.5** Illustrasjon av bulkdensitet for hhv. a) tørr tilstand, b) stabil fukttilstand og c) full vannmettet tilstand, for aktuelle sjikt i grønn takoppbygging

Tabell 3.2 viser oversikt over tørr- og vannmettet massetetthet ( $\rho_t$  og  $\rho_{wk}$ ) og tørr- og vannmettet tyngdetetthet ( $\gamma_t$  og  $\gamma_{wk}$ ) for noen aktuelle lagstyper i grønn takoppbygging, dvs. for lag B4 (topplag), lag B3 (vekstmedium), lag B2 (separasjonssjikt) og lag B1 (vannmagasinerende/drenerende sjikt).

Forholdet mellom massenes karakteristiske masse- og tyngdetetthet for vannmettet tilstand ( $\rho_{wk}$  og  $\gamma_{wk}$ ) i tabell 3.2 er forenklet bestemt ved å sette tyngdeakselerasjonen til  $10 \text{ m/s}^2$  (ikke  $9,81 \text{ m/s}^2$ ), noe som gir  $\gamma_{wk} = \rho_{wk} / 100 \text{ [kN/m}^3\text{]}$ .

Basert på input av karakteristisk tyngdetetthet for vannmettet tilstand ( $\gamma_{wk}$ ), se orienterende verdier i tabell 3.2, og lagstykkelser ( $h_B$ ), bestemmes den karakteristiske egenlasten ( $g_{Ek,B}$ ) for den grønne takoppbyggingen iht. uttrykk (3-2) for de aktuelle lagene i en gitt grønn takoppbygging.

|                                   |                                           |                   |       |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|-------------------|-------|
| Topplag (lag B4):                 | $g_{Ek,B4} = h_{B4} \cdot \gamma_{wk,B4}$ | $[\text{kN/m}^2]$ | (3-2) |
| Vekstmedium (lag B3):             | $g_{Ek,B3} = h_{B3} \cdot \gamma_{wk,B3}$ | $[\text{kN/m}^2]$ |       |
| Separasjonssjikt (lag B2):        | $g_{Ek,B2} = h_{B2} \cdot \gamma_{wk,B2}$ | $[\text{kN/m}^2]$ |       |
| Vannmagasinerende sjikt (lag B1): | $g_{Ek,B1} = h_{B1} \cdot \gamma_{wk,B1}$ | $[\text{kN/m}^2]$ |       |

Hvor:

- $\gamma_{wk,B4}$  = Karakteristisk vannmettet tyngdetetthet  $[\text{kN/m}^3]$  for valgt topplag (lag B4)
- $\gamma_{wk,B3}$  = Karakteristisk vannmettet tyngdetetthet  $[\text{kN/m}^3]$  for valgt vekstmedium (lag B3)
- $\gamma_{wk,B2}$  = Karakteristisk vannmettet tyngdetetthet  $[\text{kN/m}^3]$  for valgt separasjonssjikt (lag B2)
- $\gamma_{wk,B1}$  = Karakteristisk vannmettet tyngdetetthet  $[\text{kN/m}^3]$  for valgt vannmagasinerende sjikt (lag B1)
- $h_{B4}$  = Valgt tykkelse  $[\text{m}]$  for topplag (lag B4)
- $h_{B3}$  = Valgt tykkelse  $[\text{m}]$  for vekstmedium (lag B3)
- $h_{B2}$  = Valgt tykkelse  $[\text{m}]$  for vekstmedium (lag B2)
- $h_{B1}$  = Valgt tykkelse  $[\text{m}]$  for vannmagasinerende/drenerende sjikt (lag B1)

Tabell 3.2 viser også oversikt over maks vannlagringskapasitet for ulike lag, dvs. verdier for prosentandel av volumet ( $WK_{\text{Max}}$ ) som kan fylles med vann ved full vannmetning av massene som illustrert i figur 3.5 c):

$$WK_{\text{Max}} = [(\rho_{wk} - \rho_{\text{Tørr}}) / \rho_{\text{Vann}}] \cdot 100\% \quad [\text{vol.\%}]$$

Vekstmedium (lag B3) bør ha følgende verdier for vannlagringskapasiteten,  $WK_{\text{max}}$ , i komprimert eller ferdig installert tilstand, ref. FLL [2.1]:

For *intensive* grønne tak *med unntak* av torv:

- Ett-lags:  $30 \text{ vol. \%} \leq WK_{\text{max}} \leq 65 \text{ vol. \%}$
- Flerlags:  $45 \text{ vol. \%} \leq WK_{\text{max}} \leq 65 \text{ vol. \%}$

For *intensive* grønne tak *med* torv:

- Ett-lags:  $30 \text{ vol. \%} \leq WK_{\text{max}} \leq 65 \text{ vol. \%}$
- Flerlags:  $35 \text{ vol. \%} \leq WK_{\text{max}} \leq 65 \text{ vol. \%}$

For *ekstensive* grønne tak *med unntak* av torv:

- Ett-lags:  $20 \text{ vol. \%} \leq WK_{\text{max}} \leq 65 \text{ vol. \%}$
- Flerlags:  $35 \text{ vol. \%} \leq WK_{\text{max}} \leq 65 \text{ vol. \%}$

Maksgrensene på  $65 \text{ vol. \%}$  for  $WK_{\text{max}}$  er for å unngå "sumpdannelse" i vekstmediumet. Som vi ser ligger verdiene for  $WK_{\text{max}}$  for de ulike typene av vekstmedium (lag B3) i tabell 3.2 innenfor de anbefalte verdiene ovenfor. For definisjon av intensive- og ekstensive grønne tak, se kapittel 2.2.

**Tabell 3.2** | Veiledende masse- og tyngdetettheter for lag i grønn takoppbygging (lag B1 til B4 på figur 3.4)

| Tverrsnitt / lag                                   | Karakteristisk masse- og tyngdetetthet (pr. m³) |                              |                            |                            | Maks vannlagringskapasitet <sup>2)</sup>                                                              |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                    | Tørr                                            |                              | Vannmettet <sup>1)</sup>   |                            | WK <sub>max</sub> = [(ρ <sub>wk</sub> – ρ <sub>Tørr</sub> )/ρ <sub>Vann</sub> ] · 100%<br><br>[vol.%] |
|                                                    | ρ <sub>tørr</sub><br>[kg/m³]                    | γ <sub>tørr</sub><br>[kN/m³] | ρ <sub>wk</sub><br>[kg/m³] | γ <sub>wk</sub><br>[kN/m³] |                                                                                                       |
| Lag B4 – Topplag                                   |                                                 |                              |                            |                            |                                                                                                       |
| Sedummatte                                         | 625                                             | 6,25                         | 1250                       | 12,5 <sup>3)</sup>         | 62,5 vol. % (625 kg/m³)                                                                               |
| Natursingel                                        | -                                               | -                            | 1500                       | 15,0                       | -                                                                                                     |
| Lag B3 – Vekstmedium                               |                                                 |                              |                            |                            |                                                                                                       |
| Lettjord                                           | 600                                             | 6,00                         | 1200                       | 12,0 <sup>3)</sup>         | 60 vol. % (600 kg/m³)                                                                                 |
| Vekstblanding med biokull                          | 1100                                            | 11,0                         | 1550                       | 15,5                       | 45 vol. % (450 kg/m³)                                                                                 |
| Vekstblanding med 80% lavastein og 20% kompostjord | 610                                             | 6,1                          | 1150                       | 11,5                       | 54 vol. % (540 kg/m³)                                                                                 |
| Lag B2 – Separasjonssjikt                          |                                                 |                              |                            |                            |                                                                                                       |
| Filtmatter (1,2 kg/m², tykkelse 1 cm)              | 120                                             | 1,2                          | 1050                       | 10,5 <sup>3)</sup>         | 93 vol. % (930 kg/m³)                                                                                 |
| Lag B1 – Drensjikt / Vannmagasinerende sjikt       |                                                 |                              |                            |                            |                                                                                                       |
| Pimpstein                                          | 1200                                            | 12,0                         | 1470                       | 14,7                       | 27 vol. % (380 kg/m³)                                                                                 |
| Lavastein                                          | 900                                             | 9,0                          | 1130                       | 11,3                       | 23 vol. % (230 kg/m³)                                                                                 |
| Knust tegl (4/8)                                   | 1400                                            | 14,0                         | 1630                       | 16,3                       | 23 vol. % (230 kg/m³)                                                                                 |
| Løs lettklinker                                    | 250                                             | 2,5                          | 700                        | 7,0                        | 45 vol. % (450 kg/m³)                                                                                 |
| Steinullmatter (tykkelse 4 cm)                     | 850                                             | 8,5                          | 1550                       | 15,5                       | 70 vol. % (700 kg/m³)                                                                                 |
|                                                    | 1000                                            | 10,0                         | 1800                       | 18,0                       | 80 vol. % (800 kg/m³)                                                                                 |
| Drenselementer (typisk 50 mm)                      | ≈ 0                                             | ≈ 0                          | 950                        | 9,5 <sup>3)</sup>          | 95 vol. % (950 kg/m³)                                                                                 |

1) Leverandøren av aktuelle sjikt har ansvaret for å dokumentere materialenes egenvekter vannmettet tilstand.

Vannmettet tilstand representerer maks vannlagringskapasitet (magasinering), se figur 3.5 c)

2) Prosentandel av volumet som kan fylles med vann ved full vannmetning av massene

3) Benyttet ved beregning av karakteristisk egenlast, g<sub>Ek,B</sub>, i etterfølgende eksempel



### 3.3.2 Eksempel – Beregning av $g_{Ek,B}$ fra grønn takoppbygging

Vi skal bestemme karakteristisk egenlast ( $g_{Ek,B}$ ) som virker på taket fra topplag (lag B4), vekstmedium (lag B3), separasjonssjikt (lag B2) og fra vannmagasinerende sjikt (lag B1) i grønn takoppbygging illustrert på figur 3.4. Vi tenker oss at dette kan være valgt oppbygging for grønt tak for hele- eller deler av taket. Beregningene foretas iht. uttrykk (3-2) og valg av tverrsnittsoppbygging (lag) hentet fra tabell 3.2.

Følgende valg av grønn takoppbyggingen er foretatt for ett gitt område av taket:

Topplag (lag B4):

Sedummatte:

Tyngdetetthet:  $\gamma_{wk,B4} = 12,5 \text{ kN/m}^3 *$  ( $\gamma_{tørr,B4} = 6,25 \text{ kN/m}^3$ )

Tykkelse:  $h_{B4} = 0,04 \text{ m}$

Vekstmedium (lag B3):

Lettjord:

Tyngdetetthet:  $\gamma_{wk,B3} = 12,0 \text{ kN/m}^3 *$  ( $\gamma_{tørr,B3} = 6,00 \text{ kN/m}^3$ )

Tykkelse:  $h_{B3} = 0,10 \text{ m}$

Separasjonssjikt (lag B2):

Filtmatte:

Tyngdetetthet:  $\gamma_{wk,B2} = 10,5 \text{ kN/m}^3 *$  ( $\gamma_{tørr,B2} = 1,2 \text{ kN/m}^3$ )

Tykkelse:  $h_{B2} = 0,01 \text{ m}$

Vannmagasinerende og drenerende sjikt (lag B1):

Drenselementer:

Tyngdetetthet:  $\gamma_{wk,B1} = 9,5 \text{ kN/m}^3 *$  ( $\gamma_{tørr,B1} \approx 0 \text{ kN/m}^3$ )

Tykkelse:  $h_{B1} = 0,05 \text{ m}$

\* Vannmettet tyngdetetthet,  $\gamma_{wk}$ , se tabell 3.2

Karakteristiske egenlaster for sjiktene i den grønne takoppbyggingen beregnes iht. uttrykk (3-2):

Topplag (lag B4):  $g_{Ek,B4} = h_{B4} \cdot \gamma_{wk,B4} = 0,04 \text{ m} \cdot 12,5 \text{ kN/m}^3 = 0,50 \text{ kN/m}^2$

Vekstmedium (lag B3):  $g_{Ek,B3} = h_{B3} \cdot \gamma_{wk,B3} = 0,10 \text{ m} \cdot 12,0 \text{ kN/m}^3 = 1,20 \text{ kN/m}^2$

Separasjonssjikt (lag B2):  $g_{Ek,B2} = h_{B2} \cdot \gamma_{wk,B2} = 0,01 \text{ m} \cdot 10,5 \text{ kN/m}^3 \approx 0,10 \text{ kN/m}^2$

Vannmagasinerende sjikt (lag B1):  $g_{Ek,B1} = h_{B1} \cdot \gamma_{wk,B1} = 0,05 \text{ m} \cdot 9,5 \text{ kN/m}^3 \approx 0,50 \text{ kN/m}^2$

Sum:  $g_{Ek,B} = 2,30 \text{ kN/m}^2$

Sum:  $h_B = 0,2 \text{ m}$

Som vi ser gir den grønne takoppbyggingen, lag B1 til B4 med total byggehøyde på 0,2 m på figur 3.2, et samlet bidrag til vannmettet karakteristisk egenlast på taket som er ca.  $2,30 \text{ kN/m}^2$  (ca.  $230 \text{ kg/m}^2$ ).

Generelt vedrørende beregningsresultatet i dette eksempelet:

Andelen av den beregnede egenlasten  $g_{EK,B}$  på 2,30 kN/m<sup>2</sup> fra grønn takoppbygging som er forårsaket av vannlagring i sjiktene er relativ stor, da maksimal vannlagringskapasitet ( $WK_{max}$ ) er stor, og dermed betydelig prosentandel av volumet som kan fylles med vann ved full vannmetning av massene. Vannlagringskapasitet ( $WK_{max}$ ) på 62,5% for topplag av sedummatte (lag B4), 60% for vekstblanding av lettjord (lag B3), 93% for filtmatter (lag B2) og 95% for drenselementer (lag B1).

Vekt av vann alene er da:

For lag B4 (sedummatte):

$$WK_{maks,B4} \cdot h_{B4} \cdot \gamma_{Vann} = 62,5\% \cdot 0,04 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 = 0,25 \text{ kN/m}^2 \text{ (ca. 25 kg/m}^2\text{)}$$

For lag B3 (lettjord):

$$WK_{maks,B3} \cdot h_{B3} \cdot \gamma_{Vann} = 60\% \cdot 0,10 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 = 0,60 \text{ kN/m}^2 \text{ (ca. 60 kg/m}^2\text{)}$$

For lag B2 (filtmatter):

$$WK_{maks,B2} \cdot h_{B2} \cdot \gamma_{Vann} = 93\% \cdot 0,01 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \approx 0,09 \text{ kN/m}^2 \text{ (ca. 9 kg/m}^2\text{)}$$

For lag B1 (drenselementer):

$$WK_{maks,B1} \cdot h_{B1} \cdot \gamma_{Vann} = 95\% \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 10 \text{ kN/m}^3 \approx 0,50 \text{ kN/m}^2 \text{ (ca. 50 kg/m}^2\text{)}$$

Dvs. totalt (0,25 + 0,60 + 0,09 + 0,50) kN/m<sup>2</sup>  $\approx$  1,44 kN/m<sup>2</sup> (ca. 144 kg/m<sup>2</sup>) jevnt fordelt belastning pga. vannlast fra maks mulig vannlagring i den grønne takoppbyggingen (lag B1 til B4). Av totalt påført egenlast fra grønn takoppbygging på 2,30 kN/m<sup>2</sup> (ca. 230 kg/m<sup>2</sup>) utgjør dermed maks egenlast fra vann 1,44 kN/m<sup>2</sup> (ca. 144 kg/m<sup>2</sup>). Prosentandelen av den totale egenlasten fra grønn takoppbygging som er forårsaket av maksimal mulig vannlagring i sjiktene er dermed:  $1,44 / 2,30 \cdot 100\% \approx 63\%$ . Dvs. at egenlasten pga. vannlagring i massene er større enn massenes vekt i tørr tilstand.

En viss andel av vannlasten vil i realiteten være en variabel last, dvs. at påført egenlast fra grønn takoppbygging i dette eksempelet vil variere fra en maksimalverdi på ca. 2,30 kN/m<sup>2</sup> (ca. 230 kg/m<sup>2</sup>) i vannmettet tilstand (se figur 3.5 c)) og ned mot en absolutt nedre grense på  $(2,30 - 1,44) \text{ kN/m}^2 = 0,86 \text{ kN/m}^2$  (ca. 86 kg/m<sup>2</sup>) når sjiktene er maksimalt drenert/ovnstørr (se figur 3.5 a)). I realiteten vil man naturligvis aldri oppnå egenlast ned mot 0,86 kN/m<sup>2</sup> (ovnstørre masser).

Ved praktisk lastkombinering betrakter vi imidlertid hele den potensielle vannlasten (vannmettet tilstand) som permanent egenlast på konstruksjonen. Dette er da også iht. tidligere presisering i gitt i kapittel 3.3.1. Dvs. at 1,44 kN/m<sup>2</sup>, som er potensiell maks vannlast i dette eksempelet, i sin helhet betraktes som del av den permanente egenlasten på takkonstruksjonen.

Eksempelet her viser videre at det er meget viktig at jordmasser regnes med riktig tyngdetetthet, og at det derfor tas hensyn til hvor mye vann massene er i stand til å magasinere ved full vannmetning. I dette eksempelet med total høyde på den grønne takoppbyggingen på 0,2 meter, utgjør vanninnholdet ca. 0,14 meter vannsøyle og resterende 0,06 meter kompakt materiale uten luft, dersom vi tenker oss at vann og faststoff er separert fra hverandre. For vekstmedium av lettjord (lag B3), med tykkelse  $h_{B3} = 0,1 \text{ m}$ , er det 60% av volumet som potensielt kan fylles med vann, noe som tilsvarer en vannsøyle på 60 mm, og 40 mm kompakt jordmasse uten luft, dersom vi tenker oss at vann og faststoff (lettjord) er separert fra hverandre.

### 3.4 Vindlast inkl. ev. tilhørende nødvendig ballast

Dimensjonerende vindlaster må beregnes for ulike soner av taket i hvert enkelt tilfelle. Vindlastberegninger foretas iht. NS-EN 1991-1-4 [1.4] av ansvarlig rådgivende ingeniør bygg (RIB). Slike beregninger kan utføres

tidlig i prosessen i forbindelse med vurdering av egnet type grønn takoppbygging, men vil i størst grad være nødvendig i prosjektets senere faser, så fremt man ikke vet at byggets beliggenhet er spesielt vindutsatt. Pkt. 4.3.3.2 i NS 3840 [1.6] gir generelle retningslinjer (preaksepterte løsninger) for å redusere eller eliminere risiko for avblåsning av de ulike sjiktene i grønn takoppbygging ved bruk av ballast (f.eks. betongheller eller natursingel), ev. mekanisk innfesting. Dette er også omhandlet i pkt. 8.8 i LFF [2.1] og i pkt. 6 i Byggdetaljer 544.823 [3.9].

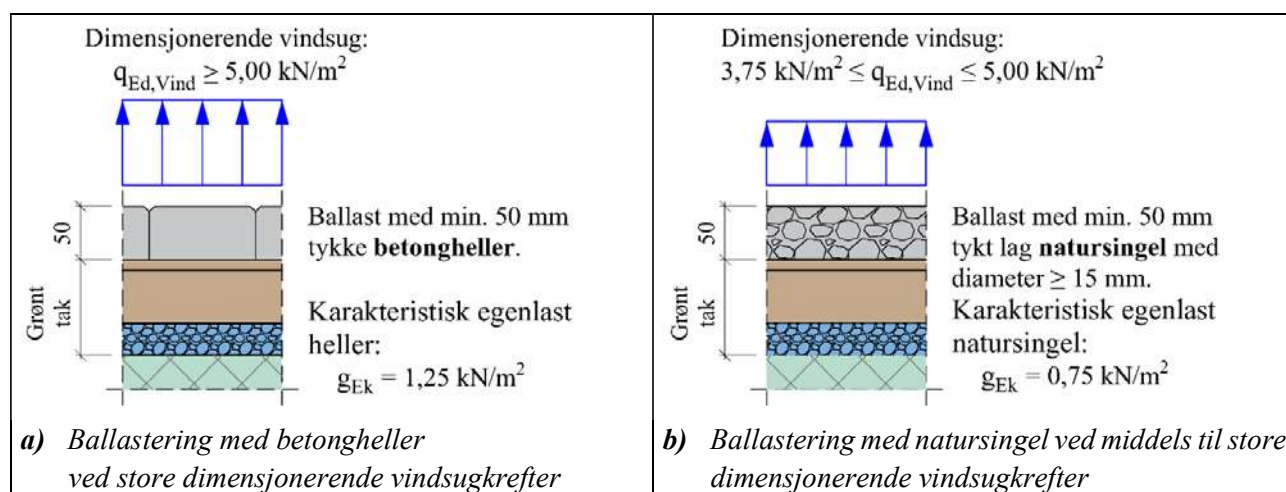
Sikring mot avblåsning av lagene i den grønne takoppbyggingen må vurderes spesielt i rand- og hjørnesoner av taket når dimensjonerende vindsugkrefter (oppløft) er relativt store, dvs. typisk over 3,75 kN/m<sup>2</sup>.

Vindlastberegninger for grønne tak etablert på eksisterende tak vil i all hovedsak være relatert til fastsettelse av dimensjonerende vindsugkrefter, og påfølgende bestemmelse av ev. behov for særskilte sikringstiltak mot avblåsning. Vindlaster behandles derfor særskilt, og vil i liten eller ingen grad ha direkte betydning for kontroll av bæreevnen i den eksisterende bærende takkonstruksjonen. Ved behov for ballast for deler av taket, f.eks. ved rand- og hjørnesoner, må man imidlertid implementere denne ballastlasten som del av den permanente påførte egenlasten på taket, f.eks. som ekstra egenlast over toppsjiktet i rand- og hjørnesoner, der vindsugkreftene er størst. Figur 3.6 nedenfor illustrerer eksempel på ballastering av grønne tak i rand- og hjørnesoner (minimum bredde på 0,5 meter) slik dette er beskrevet som mulig løsning i pkt. 4.3.3.2 i NS-3840 [1.7].

Merk at karakteristisk verdi av ballast på hhv. 1,25 og 0,75 kN/m<sup>2</sup> i løsningene vist på figur 3.6 er betydelig mindre enn dimensjonerende vindsugkrefter markert på samme figur. Erfaring viser at denne type løsning for ballastering likevel vil fungere tilfredsstillende, også for så store vindsugkrefter, for sikring mot avblåsning av de ulike sjiktene i den grønne takoppbyggingen.

Tilhørende permanent karakteristisk egenlast pga. ballast beregnes tilsvarende som vist i kapittel 3.2 og 3.3 for de øvrige lagene i takkonstruksjonen. For løsningene vist i figur 3.6 får vi da:

- Ballastering med 50 mm tykke betongheller:  $g_{Ek} = \gamma_A \cdot h_A = 25,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m} = 1,25 \text{ kN/m}^2$
- Ballastering med 50 mm natursingel:  $g_{Ek} = \gamma_A \cdot h_A = 15,0 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,05 \text{ m} = 0,75 \text{ kN/m}^2$



**Figur 3.6** Prinsipper for ballastering av grønt tak med bruk av betongheller og natursingel ved rand- og hjørnesoner. Figuren er iht. beskrivelse av preakseptert løsning i pkt. 4.3.3.2 i NS 3840 [1.7].

### 3.5 Spesielle påførte egenlaster fra solcelleanlegg, etc.

Ved etablering av grønt tak på eksisterende bygg vil det i enkelte tilfeller være aktuelt at påførte egenlaster mot takets overflate endres pga. f.eks.:

- fjerning av eksisterende installasjoner, etc. (lastreduksjon)
- etablering av nye installasjoner, f.eks. solcelleanlegg (lastøkning)

Dette vil selvfølgelig endre netto påført permanent egenlast mot takets overflate, noe som må hensyntas ved beregning av endelig lastsituasjon for taket. Denne type spesielle påførte egenlaster vil kunne variere betydelig og må vurderes særskilt i hvert enkelt tilfelle. Endelig beregning og dokumentasjon av denne type spesielle påførte egenlaster må utføres av ansvarlig rådgivende ingeniør bygg (RIB).

Følgende oppsummeres for denne type påførte egenlaster:

- Egenlastene, hhv. jevnt fordelte ( $\text{kN/m}^2$ ) og/eller punktlaster (kN) beregnes i hvert enkelt tilfelle, avhengig av hvilke installasjoner som planlegges montert på taket.
- For solcelleanlegg som ikke festes mekanisk til bærende takkonstruksjon vil f.eks. ballastering være aktuelt, noe som medfører at denne ballasten, sammen med vekt av anlegget, må implementeres i påført egenlast mot takets overflate. Krav til egenlast fra ballastert solcelleanlegg vil kunne variere betydelig avhengig av type solcelleanlegg (vekt, opplagring, vindareal, etc.) og byggets beliggenhet (vindlast). For ballast på tak, se også tiltak for å hindre avblåsning av grønn takoppbygging i [kapittel 3.4](#).
- For eksisterende tak vil det ofte være hensiktsmessig (nødvendig) å plassere f.eks. solcelleanlegg, inkl. nødvendig ballastering av dette, i forhold til takets hovedbæresystem, f.eks. ved at anlegget opplagres over bærende vegger, eller i områder med begrenset spennvidde i eksisterende dekkekonstruksjon, etc. Dvs. at anlegget plasseres der eksisterende bærekonstruksjon har tilstrekkelig overkapasitet mht. bæreevne og stivhet.
- Installasjoner, herunder solcelleanlegg spesielt, vil kunne endre snølastfordelingen på taket, noe som må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Dette håndteres f.eks. ved justering av formfaktor,  $\mu$ , for snølast på tak i de aktuelle områdene, se vedr. beregning av snølast på tak i [kapittel 3.7](#).

## 3.6 Nyttelaster

### 3.6.1 Metode – Fastsettelse av karakteristiske nyttelaster, $q_{Ek}$ , på tak

For et eksisterende tak, hvor det skal etableres grønn takoppbygging, må nyttelastene for taket bestemmes, herunder:

- Nyttelasten(e) som taket opprinnelig var prosjektert/utført for å tilfredsstille
- Nyttelasten(e) som er relevant for tiltenkt bruk pga. ev. bruksendring etter at grønn takoppbygging er etablert

I enkelte tilfeller vil det være relevant at bruken av taket endres ved etablering av grønn takoppbygging, pga. at taket skal benyttes til andre formål, f.eks. oppholdsrom (takterrasse) for personer, etc. I så fall vil dette også medføre endring av nyttelasten på taket *fra før* til *etter* etablering av grønn takoppbygging.

**Tabell 3.3** gir en oversikt over karakteristiske nyttelaster for ulike nyttelastkategorier som kan være aktuelle for tak både *før*- og *etter* etablering av grønt tak. Tabellen kan derfor benyttes for å bestemme eksisterende-, og fremtidig *nyttelastsituasjon* for taket.

**Merknad:** Bruk av taket iht. nyttelastkategoriene gitt i **tabell 3.3** må samsvare med valg av grønn takoppbygging, herunder valg av tykkelser og lagstyper i topplag (lag B4) og vekstmedium (lag B3) som er egnet for tiltenkt bruk. F.eks. vil ikke lavtbyggende grønne tak med sedummatter være egnet for nyttelastkategori I – "*Forsamlingsarealer på tak*", uten at det foretas egne avgrensninger av hvor ferdsel kan foregå.

**Tabell 3.3** Nyttelaster på tak, iht. NS-EN 1991-1-1 [1.1]

| Nyttelastkategori                                                | Karakteristisk nyttelast         |                  | Merknad                                                                 |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                                                  | $q_{Ek}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_{Ek}$<br>[kN] |                                                                         |
| Kategori H – Tak                                                 |                                  |                  |                                                                         |
| • Takhelning > 40°                                               | 0,0                              | 1,5              | Tak som det ikke er adgang til annet enn for vedlikehold og reparasjon. |
| • Takhelning < 20°                                               | 0,75                             | 1,5              |                                                                         |
| Kategori I – Forsamlingsarealer på tak                           |                                  |                  |                                                                         |
| • Kategori I/A4 – "Loft"                                         | 1,0                              | 1,5              | Tak som det er adgang til for brukerne.                                 |
| • Kategori I/A1 – Gulv                                           | 2,0                              | 2,0              |                                                                         |
| • Kategori I/A3 – Balkonger og verandaer                         | 4,0                              | 2,0              |                                                                         |
| • Kategori I/C1 – Arealer med bord osv.                          | 3,0                              | 4,0              |                                                                         |
| • Kategori I/C2 – Arealer med faste seter                        | 4,0                              | 4,0              |                                                                         |
| • Kategori I/C3/C5 – Åpne arealer og arealer som lett overfylles | 5,0                              | 4,0              |                                                                         |
| • Kategori I/C4 – Arealer med mulighet for fysisk aktivitet      | 5,0                              | 7,0              |                                                                         |

*Merknad til nyttelastkategoriene i [tabell 3.3](#):*

I spesielle tilfeller vil det være aktuelt at takarealene skal tilfredsstillе andre nyttelastkategorier enn de som er angitt i [tabell 3.3](#). Dette vil da være nyttelaster relatert til f.eks. trafikk (kjøretøy) og lagring av materiell. For slike spesielle nyttelaster henvises det til nyttelastkategori D, E og K i *NS-EN 1991-1* [[1.1](#)].

### 3.6.2 Eksempel – Karakteristisk nyttelast, $q_{Ek}$ , på tak

Vi skal bestemme karakteristisk nyttelast på taket, hhv. nyttelast gjeldende ved byggeår i 1994, og nyttelast gjeldende for ønsket nyttelastkategori for taket etter etablering av grønn takoppbygging i 2023.

Vi kan her anta at karakteristisk nyttelast på taket er fastsatt til følgende verdier, hhv. ved byggeår i 1994 og etter bruksendring i 2023:

År 1994:  $q_{Ek} = 1,0 \text{ kN/m}^2$

År 2023:  $q_{Ek} = 2,0 \text{ kN/m}^2$

*Merknad til eksempelet (til info):*

Som vi ser er taket forutsatt å tilfredsstillе nyttelastkategori I/A1 mht. personopphold iht. [tabell 3.3](#) etter etablering av grønt tak. Dette utgjør en lastøkning på  $1,0 \text{ kN/m}^2$  (ca.  $100 \text{ kg/m}^2$ ) sammenlignet med det taket opprinnelig var prosjektert for i 1994. I dette eksempelet har imidlertid denne nyttelasten, inkl. lastøkningen av denne, mindre betydning da snølastene uansett er dominerende, se eksempel i [kapittel 3.7.2](#). For tilfeller der nyttelastene på taket er relatert til personopphold iht. [tabell 3.3](#), dvs. nyttelaster som ikke er relevant å lastkombinere direkte med snølastene (se [kapittel 4.1](#)), vil verdien av disse nyttelastene ( $q_{Ek}$ ) ha mindre betydning når disse er mindre enn karakteristisk snølast ( $s_{Ek}$ ) slik som i dette tilfellet.



## 3.7 Snølaster

### 3.7.1 Metode – Fastsettelse av karakteristisk snølast på tak, $s_{Ek}$

For kontroll av byggets bæreevne i forbindelse med etablering av grønn takoppbygging, skal snølast på tak bestemmes i henhold til gjeldende snølaststandard NS-EN 1991-1-3 [1.3].

Snølaster på tak bestemmes basert på byggets plassering og byggets utforming, og det er nødvendig å kjenne:

- Hvilken kommune bygget ligger i
- Byggestedets høyde over havet
- Takutforming
- Bygningens geometri

Generelt bestemmes karakteristisk snølast på taket ( $s_{Ek}$ ) iht. uttrykk (3-3).

$$s_{Ek} = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (3-3)$$

hvor:

- $s_k$  = Karakteristisk snølast på mark på den aktuelle byggeplassen. Bestemmes basert på i hvilken kommune bygget ligger i og hvilken høyde over havet byggstedet ligger. (Ref. pkt. NA.4.1 i NS-EN 1991-1-3 [1.3])
- $\mu$  = Formfaktor for tak (Ref. pkt. 5.3 i NS-EN 1991-1-3 [1.3])  
Formfaktor for flate tak,  $\mu$ , er 0,8.
- $C_e$  = Eksponeeringskoeffisient (Ref. pkt. 5.2(7) / NA.5.2(7) i NS-EN 1991-1-3 [1.3])  
Eksponeeringskoeffisient for normal topografi er 1,0.
- $C_t$  = Termisk koeffisient (Ref. pkt. 5.2(8) / NA.5.2(8) i NS-EN 1991-1-3 [1.3])  
Termisk koeffisient er 1,0 for tak der varmegjennomgangskoeffisienten er mindre enn 1,0 W/(m<sup>2</sup>K).

### 3.7.2 Utvikling av hvilke snølaster som er tatt hensyn til

I tillegg til å kjenne til snølast som bygget skal dimensjoneres for etter dagens standard er det nyttig, og ofte helt sentralt, å kjenne til hva bygget faktisk var dimensjonert for mht. snølast på tak da det ble bygget.

I Norge har vi hatt en bygningslovgivning fra 1800 tallet. Disse er beskrevet i anvisninger fra SINTEF. I anvisningen 614.016 *Byggebestemmelser 1924 - 1996 Krav til utførelse* [3.7], står det noe om hvilke snølaster man dimensjonerte for i de ulike utgavene av forskriftene. I forskrift fra 1928 var den alminnelige regelen for snølast 100 kg/m<sup>2</sup> (1,0 kN/m<sup>2</sup>), men Bygningsrådet kunne forlange beregning av større snølaster ut fra stedlige forhold. I byggeforskriftene fra 1949 og 1969 ble 150 kg/m<sup>2</sup> (1,5 kN/m<sup>2</sup>) fastsatt som grunnverdi. I strøk med lite snøfall eller særlig sterkt snøfall kunne denne verdien endres av bygningsrådet. Fra 1969 ble det for beregning av laster vist til daværende NS 3052 som senere ble erstattet av NS 3479.

Laststandarden NS 3479 kom med første utgave 1979, 2. utgave i 1981 og 3. utgave i 1990. Det var i denne standarden en først begynte å differensiere snølaster innen den enkelte kommune i forhold til byggestedets høyde over havet.

I 2003 kom kan den første felleseuropeiske snølaststandarden NS-EN 1991-1-3 [1.3].

Ulike reguleringer/standarder for beregning av snølast er:

- Frem til 1949: Lokale reguleringer eller Forskrifter om materialer og konstruksjoner av 1928
- Fra 1949 til 1969: Byggeforskrift av 1949
- Fra 1969 til 1979: Standarden NS 3052
- Fra 1979 til 2002: Standarden NS 3479
- Fra 2003: Standarden NS-EN 1991-1-3 [1.3]

Merk at en bygning kan være prosjektert etter en tidligere standard enn byggeåret tilsier.

Før 1979 ble det ikke benyttet noen formfaktor for beregning av snølast på tak. Fra 1979, da NS 3479 ble innført, er det for flate tak blitt benyttet en formfaktor lik 0,8. For andre takformer vil formfaktoren kunne variere mye.

En typisk utvikling er at snølastene det skal tas hensyn til har økt etter hvert. Ved stor økning av den dimensjonerende snølasten fra byggeår til i dag, vil sannsynligheten for at takkonstruksjonen har bæremessig overkapasitet, f.eks. for å håndtere en lastøkning pga. ny grønn takoppbygging, reduseres.

### 3.7.3 Utfyllende informasjon og eksempel på beregning av karakteristisk snølast på mark, $s_k$

I forhold til gjeldende snølaststandard NS-EN 1991-1-3 [1.3] er karakteristiske snølaster på mark i Oslo kommune som vist i tabell 3.4. For å bestemme karakteristisk snølast for bygget er det nødvendig å kjenne byggestedets høyde over havet. En enkel måte å finne dette på er å gå inn på kartverket med portalen <https://norgeskart.no/>. Her kan bare søke på adresse og får opp informasjon om eiendommen med blant annet høyde over havet.

Figur 3.7 viser snølastkart for Oslo kommune, der karakteristisk snølast på mark er angitt for ulike områder, avhengig av høyde over havet (moh) og årstall. Tilsvarende fremgår i tabell 3.4.

Som vi ser av tabell 3.4 har det vært en relativt betydelig økning av karakteristisk snølast på mark ( $s_k$ ) i perioden fra 1928 og frem til 2018 som var siste tidspunkt for regulering av gjeldende snølaststandard i Norge. I praksis kan dette i en del tilfeller medføre utfordringer i forbindelse med etablering av grønne tak på eksisterende takkonstruksjoner, da beregning og dokumentasjon av tilstrekkelig bæreevne for eksisterende tak, etter ombygging/bruksendring til grønt tak, også må hensynta gjeldende laststandard for snølast.

Hvorvidt eksisterende tak allerede har utfordringer mht. dagens krav til snølast vil, i tillegg til type bærekonstruksjon og tilstanden på denne, avhenge av:

- Byggetidspunkt (opprinnelig snølast ved byggetidspunkt vs. dagens skjerpede krav)
- Beliggenhet mht. høyde over havet (opprinnelig snølast ved byggetidspunkt vs. dagens skjerpede krav inkl. høydejustering)

Et eldre bygg som er oppført på en lokasjon relativt høyt over havet, vil som vi ser av tabell 3.4 og figur 3.7 ha større sannsynlighet for økte snølaster også i fremtiden. For snølaster oppgitt i standarder er det benyttet beregnede femti års snølaster. Disse dataene er basert på værobservasjoner og man legger da til grunn endringer av snølastnivåer i reviderte utgaver av snølaststandarden. Forskning fra Klima 2050 viser at klimaendringene vil føre til endringer i snølaster, men endringene vil ikke være like for hele landet. Noen steder forventes å kunne få mindre snølast mens andre deler vil kunne få høyere snølaster.

**Tabell 3.4** Karakteristisk snølast på mark ( $s_k$ ) for Oslo kommune i perioden fra 1928 og frem til dags dato

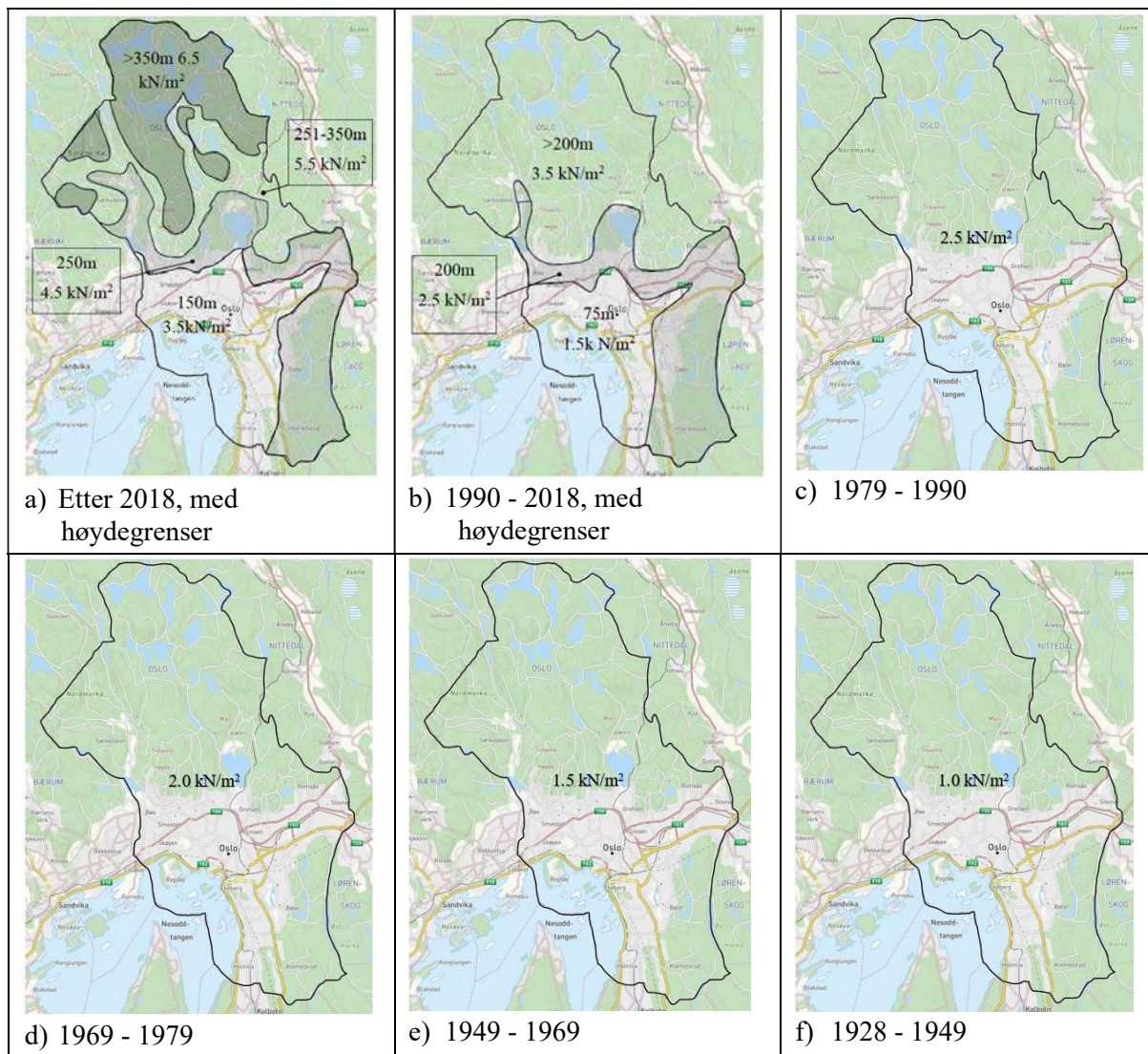
| Byggeår, gjeldende snølaststandard og karakteristisk snølast, $s_k$ <sup>1)</sup> , på mark |                      |                     |                      |                               |                      |                      |                                                         |                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|
| 2003 -                                                                                      |                      | 1990 - 2002         |                      | 1979 - 1990                   | 1969 - 1979          | 1949 - 1969          | 1928 - 1949                                             | Før 1928             |
| NS-EN 1991-1-3                                                                              |                      | NS 3479<br>(utg. 3) |                      | NS 3479<br>(utg. 2 i<br>1981) | NS 3052              | Bygge-<br>forskrift  | Lokale<br>reguleringer<br>eller<br>forskrift av<br>1928 | -                    |
| $H_g$ <sup>2)</sup>                                                                         | $s_k$                | $H_g$ <sup>2)</sup> | $s_k$                | $s_k$                         | $s_k$                | $s_k$                | $s_k$                                                   | $s_k$                |
| [moh.]                                                                                      | [kN/m <sup>2</sup> ] | [moh.]              | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ]          | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>2</sup> ]                                    | [kN/m <sup>2</sup> ] |
| 0 - 150                                                                                     | 3,5                  | 0-75                | 1,5                  | 2,5                           | 2,0 <sup>3)</sup>    | 1,5                  | 1,0                                                     | -                    |
| 151 - 250                                                                                   | 4,5                  |                     |                      |                               |                      |                      |                                                         |                      |
| 251 - 350                                                                                   | 5,5                  | 75-200              | 2,5                  |                               |                      |                      |                                                         |                      |
| > 350                                                                                       | 6,5                  | > 200               | 3,5                  |                               |                      |                      |                                                         |                      |

<sup>1)</sup>  $s_k$  = Karakteristisk snølast [kN/m<sup>2</sup>] på mark iht. gjeldende snølaststandard ved angitt årstall

<sup>2)</sup>  $H_g$  = Høydegrense [moh.] for oppgitte karakteristiske snølaster på mark

<sup>3)</sup> Byggeforskriften i 1969 angir generell snølast på mark lik 150 kg/m<sup>2</sup> som en grunnverdi.

Standarden NS 3052 angir at det for enkelte kommuner er gitt spesielle grunnverdier. Dette er tilfellet for eksempel for Oslo, der det er oppgitt 200 kg/m<sup>2</sup>.



**Figur 3.7:** Snølastkart for Oslo kommune – Karakteristisk snølast på mark gjeldende ved ulike tidspunkt

Ved beregning av snølast etter dagens gjeldende snølaststandard NS-EN 1991-1-3 [1.3] er snølastene i tabell NA.A4.4 (901) vist på litt ulik måte. For Oslo kommune er snølasten oppgitt i forhold til høydeintervaller, mens for øvrige kommuner er det oppgitt en grunnverdi for snølasten ( $s_{k,0}$ ), en høydegrense ( $H_g$ ) og en økning ( $\Delta s_k$ ) i forhold til høyde over havet dersom bygget ligger over angitt høydegrense. Et søk i Norgeskart.no viser at høyde over havet i f.eks. Bjerkreim kommune kan variere fra ca. 100 til 900 moh. For Bjerkreim kommune er grunnverdien for snølast,  $s_{k,0}$ , 2,0 kN/m<sup>2</sup> og høydegrensen,  $H_g$ , er 150 moh. For byggested under 150 moh., dvs.  $H < H_g = 150$  moh. i Bjerkreim kommune blir karakteristisk snølast på mark  $s_k = s_{k,0} = 2,0$  kN/m<sup>2</sup>.

Dersom bygget er lokalisert på høyde høyere enn  $H_g = 150$  moh. regnes det en økning i karakteristisk snølast på mark.

$$\text{For } H = 250 \text{ moh.: } s_k = s_{k,0} + n \cdot \Delta s_k = (2,0 + 1,0 \cdot 0,5) \text{ kN/m}^2 = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Hvor: } s_{k,0} = 2,0 \text{ kN/m}^2 \text{ (grunnverdi)}$$

$$n = (H - H_g)/100 = (250 - 150)/100 = 1,0$$

$$\Delta s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

### 3.7.4 Eksempel – Beregning av karakteristisk snølast på tak, $s_{Ek}$

Vi skal bestemme karakteristisk snølast på tak for en bygning med flatt tak, i områder av taket hvor det ikke er fare for snøoppbygning. Bygget er oppført i 1994 og ligger 230 moh. i Oslo kommune. Normal topografi,  $C_p = 1,0$  og termisk koeffisient for taket,  $C_t = 1,0$ . Vi beregner karakteristisk snølast på taket iht. uttrykk (3-3) hhv. i 1994 (byggeår) og 2023 (tidspunkt for prosjektering av grønt tak), med verdier for snølast på mark,  $s_k$ , fra tabell 3.4:

$$\text{År 1994:} \quad s_{Ek} = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,5 \text{ kN/m}^2 = 2,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{År 2023:} \quad s_{Ek} = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 4,5 \text{ kN/m}^2 = 3,6 \text{ kN/m}^2$$

Som vi ser er den karakteristiske snølasten som taket skal beregnes for i dag ( $3,6 - 2,8$ )  $\text{kN/m}^2 = 0,8 \text{ kN/m}^2$  (ca.  $80 \text{ kg/m}^2$ ) høyere enn hva taket trolig ble beregnet for i 1994. Dvs. at taket, i forbindelse med etablering av grønt tak, også må dokumenteres bæreevne og stivhet der karakteristisk snølast på taket er  $3,6/2,8 \approx 1,29$  ganger (ca. 29%) større enn hva som var kravet ved beregning av taket ved byggeår i 1994.

Ved lastkombinering i brudd-, bruks- og ulykkesgrensetilstanden vil selvfølgelig forholdet mellom dimensjonerende snølast på taket i hhv. 1994 og 2023 variere avhengig av hvilke av disse grensetilstandene vi betrakter, se kapittel 4.



### 3.8 Vannlaster

Belastningen fra vannlagring i taktverrsnittet (i topplaget, i vekstmediet, i separasjonssjiktet og i vannmagasinerende sjikt), vil i realiteten bestå av både en permanent andel (egenlast) og en variabel andel (nyttelast/naturlast). For grønne tak skal imidlertid all last forårsaket av vannlagring, se [figur 3.5](#), betraktes som permanent egenlast. Alle laster fra den grønne takoppbyggingen inngår derfor i beregning av karakteristisk egenlast ( $g_{Ek,B}$ ) fra den grønne takoppbyggingen, inkl. last pga. maksimal vannlagringskapasitet i sjiktene. Bakgrunnen for dette valget, samt metode for beregning av karakteristiske egenlast fra grønn takoppbygging ( $g_{Ek,B}$ ) inkl. last pga. full vannmetning, fremgår i [kapittel 3.3](#).

### 3.9 Laster under utførelse

Ved etablering av grønne tak, vil laster i forbindelse med selve utførelsen kunne variere mye, avhengig av hvilke metoder for utførelse som velges. Dette gjelder både for påførte egenlaster, herunder midlertidig lagring av vekstmedium, etc. for grønt tak, og påførte nyttelaster fra personer, utstyr og maskiner i forbindelse med arbeidene med etablering av grønt tak.

Det er selvfølgelig viktig at selve utførelsen planlegges slik at belastningssituasjonen på taket, for eksempel på grunn av midlertidig lagring av vekstmedium etc., ikke medfører lokale og uakseptabelt store belastninger på takkonstruksjonen. Dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Det vil generelt være en fordel at omfang av mellomlagring på taket begrenses.

For prosjekter hvor det skal etableres grønne tak på eksisterende bygg vil det først og fremst være krav til begrensning av laster under utførelse som er det sentrale, herunder at disse ikke medfører større belastning (lastvirkninger) enn det takkonstruksjonen er beregnet å skulle overføre i en normaltilstand (bruksgrensetilstand) etter ferdigstilling av grønn takoppbygging. Slike laster omhandles derfor ikke nærmere i denne veilederen, ut over følgende punkter som bør hensyntas:

- Laster under utførelse behandles iht. retningslinjer gitt i *NS-EN 1991-1-6* [\[1.6\]](#)
- All lagring på tak må planlegges og vurderes før arbeidene igangsettes
- Ujevn fordeling av jordmasser, sedummatter, etc., i forbindelse med etablering av grønt tak kan gi store lokale lastkonsentrasjoner og mulige overskridelser av takkonstruksjonens kapasitet, avhengig av størrelsen på lasten og hvor lastkonsentrasjonen er lokalisert, f.eks. om denne er lokalisert over underliggende bærevegger (mindre ugunstig) eller midt i dekkespenn (ugunstig).
- Bruk av maskiner må vurderes særskilt mht. tilhørende punktlaster (akseltrykk), se *NS-EN 1991-1-1* [\[1.1\]](#) og *NS-EN 1991-1-6* [\[1.6\]](#)



## 4 LASTKOMBINERING – BEREGNING AV DIMENSJONERENDE LASTER

### 4.1 Formål

Basert på bestemmelse av karakteristiske egenlaster ( $g_{Ek}$ ), karakteristiske nyttelaster ( $q_{Ek}$ ) og karakteristiske snølaste ( $s_{Ek}$ ) i foregående [kapittel 3.2](#) til [3.7](#) (og ev. [kapittel 3.8](#) og [3.9](#)), kan vi nå, ved lastkombinering av disse lastene, foreta beregning av *dimensjonerende* belastning på taket i hhv. bruddgrensetilstanden (ULS), bruksgrensetilstanden (SLS), og ulykkesgrensetilstanden (ALS).

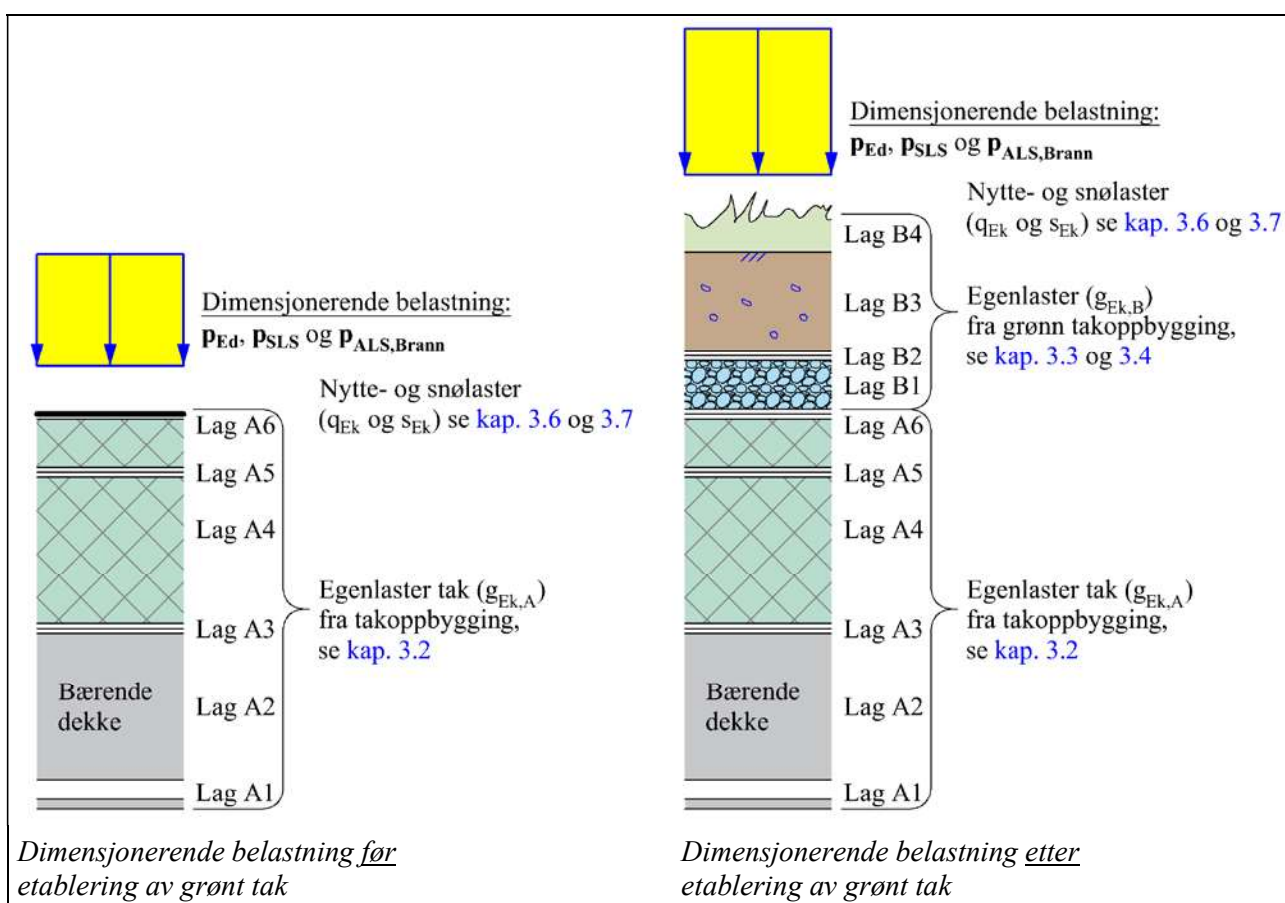
Dette gjøres for eksisterende- og fremtidig lastsituasjon for taket, se illustrasjon i [figur 4.1](#).

Formålet med beregning av dimensjonerende belastning på taket er å:

- fastsette den relative økningen av dimensjonerende belastning på takkonstruksjonen etter etablering av grønt tak (nåtidspunkt), relativt til hva taket var beregnet for ved tidspunkt for oppføring (byggear)
- fastsette riktige dimensjonerende laster på taket som skal inngå i lastvirkningsberegningene ved endelig dokumentasjon av takets bæreevne ved ev. etablering av grønt tak

Dimensjonerende belastning bestemmes for følgende grensetilstander:

- *Bruddgrensetilstanden (ULS):*  $p_{Ed}$  iht. uttrykk (4-1) i [kapittel 4.2](#)
- *Bruksgrensetilstanden (SLS):*  $p_{SLS}$  iht. uttrykk (4-2) til (4-4) i [kapittel 4.3](#)
- *Grensetilstanden brann (ALS):*  $p_{ALS,Brann}$  iht. uttrykk (4-5) i [kapittel 4.4](#)



**Figur 4.1** Skjematiske snitt gjennom takkonstruksjon, inkl. illustrasjon av dimensjonerende belastning,  $p_{Ed}$ ,  $p_{SLS}$  og  $p_{ALS,Brann}$ , i brudd- og bruksgrensetilstanden, samt grensetilstanden brann.

Beregninger av dimensjonerende belastning på taket vil gi nyttig og nødvendig oversikt over omfanget av endring (økning) av den totale belastningssituasjonen på taket ved sammenligning av situasjon hhv. *før*- og *etter* etablering av grønn takoppbygging. Beregningene kan utføres i tidlig fase av byggeier, eller andre. Beregningene må videre utføres av ansvarlig rådgivende ingeniør bygg (RIB) i forbindelse med endelig lastkombinering som grunnlag for beregning av dimensjonerende lastvirkninger for taket i tilfeller der ny grønn takoppbygging faktisk kommer til utførelse.

Ved lastkombinering av alle aktuelle laster på taket, vil det (normalt) ikke være aktuelt å kombinere variable nyttelaster forårsaket av personopphold (se [kapittel 3.6](#)) og snølaster (se [kapittel 3.7](#)). Dette er naturlig, og betyr bare at man for en gitt nyttelastkategori forutsetter at nyttelasten *ikke* vil opptre i tillegg til (samtidig som) full snølast.

Man har da følgende to hovedkombinasjoner for lastkombinering som bør legges til grunn ved beregning i både bruddgrense-, bruksgrense- og ulykkesgrensetilstanden, hhv. *før*- og *etter* etablering av grønn takoppbygging:

Permanente laster + Variable laster (dominerende + ev. ikke-dominerende):

**Kombinasjon 1:** [Egenlaster] + [Dominerende snølast] + [Ev. andre ikke-dominerende variable laster]

**Kombinasjon 2:** [Egenlaster] + [Dominerende nyttelast] + [Ev. andre ikke-dominerende variable laster]

For takkonstruksjoner vil man som oftest kunne eliminere andre ikke-dominerende variable laster. Når man samtidig regner all last pga. maks potensiell vannmagasinering i alle taksjikt som permanent egenlast (ikke nyttelastandel for vannlastene), se [kapittel 3.3](#) og [3.8](#), medfører dette at man ved lastkombinering ofte beregner med kun én variabel (dominerende) last av gangen, hhv. snølast *eller* nyttelast. Dette er da ev. andre variable laster som på en eller annen måte kan kombineres med hhv. maks snølast og dominerende nyttelast. Dette er nyttelaster som ikke er dekket av nyttelastkategoriene som er spesifisert i [kapittel 3.6](#), f.eks. laster pga. lagring av materiell på taket. Dersom slike laster ikke er aktuelle eller ev. implementeres som påførte (permanente) egenlaster på taket, vil man i de aller fleste tilfeller kunne redusere de to hovedkombinasjonene for lastkombinering ovenfor til:

Permanente laster + Variable laster:

**Kombinasjon 1:** [Egenlaster] + [Snølast]

**Kombinasjon 2:** [Egenlaster] + [Nyttelast]

Lastkombineringen foretas som vist i etterfølgende [kapittel 4.2](#), [4.3](#) og [4.4](#) for hhv. bruddgrensetilstanden (ULS), bruksgrensetilstanden (SLS) og ulykkesgrensetilstanden (ALS). Kapitlene inneholder også videreføring av eksemplene i [kapittel 3](#).

**Tabell 4.1** sammenstiller alle last- og kombinasjonsfaktorer som benyttes for aktuelle laster på ferdig tak, både for permanente laster (egenlaster) og variable laster (nyttelaster, snølaster og vindlaster).

**Tabell 4.1:** Last- og kombinasjonsfaktorer for laster på tak, iht. NS-EN 1990 [1.0]

|                                         | Karakteristisk last<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Kombinasjonsfaktorer <sup>1)</sup> |          |          | Lastfaktorer                        |                                                                  |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------|----------|----------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                         |                                             | $\psi_0$                           | $\psi_1$ | $\psi_2$ | Bruks- og ulykkesgrense (SLS / ALS) | Bruddgrense (ULS)                                                |
| <b>Egenlaster</b><br>$g_{Ek}$           | Se kap. 3.2 til 3.5                         | -                                  | -        | -        | $\gamma_g = 1,0$                    | $\gamma_g = 1,35$<br>$\xi \cdot \gamma_g = 1,20$                 |
| <b>Nyttelaster</b><br>$q_{Ek}$          | Se kap. 3.6                                 |                                    |          |          | $\gamma_q = 1,0$                    | $\gamma_q = 1,5$<br>$k_{fi} \cdot \gamma_q = 1,35$ <sup>2)</sup> |
| Takhelning > 40°                        | 0                                           | 0                                  | 0        | 0        |                                     |                                                                  |
| Kategori H – Tak<br>Takhelning < 20°    | 0,75                                        | 0                                  | 0        | 0        |                                     |                                                                  |
| Kategori I – Forsamlingsarealer på tak  |                                             |                                    |          |          |                                     |                                                                  |
| Kategori I/A4 – "Loft"                  | 1,0                                         |                                    |          |          |                                     |                                                                  |
| Kategori I/A1 – Gulv                    | 2,0                                         | 0,7                                | 0,5      | 0,3      |                                     |                                                                  |
| Kategori I/A3 – Balkonger og verandaer  | 4,0                                         |                                    |          |          |                                     |                                                                  |
| Kategori I/C1 – Arealer med bord osv.   | 3,0                                         |                                    |          |          |                                     |                                                                  |
| Kategori I/C2 – Arealer med faste seter | 4,0                                         | 0,7                                | 0,7      | 0,6      |                                     |                                                                  |
| Kategori I/C3 – Åpne arealer            | 5,0                                         |                                    |          |          |                                     |                                                                  |
| <b>Snølast</b><br>$s_{Ek}$              | Se kap. 3.7                                 | 0,7                                | 0,5      | 0,2      |                                     |                                                                  |
| <b>Vindlast</b><br>$q_{Ek, Vind}$       | Se kap. 3.4                                 | 0,6                                | 0,2      | 0        |                                     |                                                                  |

1)  $\psi_0$  = Faktor for kombinasjonsverdi av den aktuelle variable lasten

$\psi_1$  = Faktor for ofte forekommende verdi av den aktuelle variable lasten

$\psi_2$  = Faktor for tilnærmet permanent verdi av den aktuelle variable lasten

2) Redusert lastfaktor,  $k_{fi} \cdot \gamma_q = 1,35$ , ( $k_{fi} = 0,9$ ), for takkonstruksjoner i pålitelighetsklasse RC1. For øvrig  $k_{fi} = 1,0$ , ref. pkt. NA.A1.3.1(1) i NS-EN 1990 [1.0]

## 4.2 Lastkombinering i bruddgrensetilstanden (ULS)

### 4.2.1 Metode – Beregning av dimensjonerende belastning, $p_{Ed}$ , i bruddgrensetilstanden (ULS)

Beregning av dimensjonerende belastning,  $p_{Ed}$ , i bruddgrensetilstanden (ULS) utføres iht. uttrykk (4-1), både for opprinnelig takoppbygging og belastningssituasjon, og for planlagt takoppbygging og belastningssituasjon etter etablering av grønt tak, se illustrasjon i figur 4.1. Beregningene er iht. og tilpasset pkt. 6.4.3.2 og NA.A1 i NS-EN 1990 [1.0].

$$p_{Ed} = \text{Maks av } \{p_{Ed,a} \text{ og } p_{Ed,b}\} \quad [\text{kN/m}^2] \quad (4-1)$$

Hvor:

Inkl. kombinasjon med ikke-dominerende variable laster (sjeldent aktuelt for tak):

$$p_{Ed,a} = [\gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot \psi_{0,1} \cdot q_{Ek,1}] + [\gamma_q \cdot \psi_{0,i} \cdot q_{Ek,i}]$$

$$p_{Ed,b} = [\xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot q_{Ek,1}] + [\gamma_q \cdot \psi_{0,i} \cdot q_{Ek,i}]$$

Uten kombinasjon med ikke-dominerende variable laster (mest vanlig for takkonstruksjoner):

$$p_{Ed,a} = [\gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot \psi_{0,1} \cdot q_{Ek,1}]$$

$$p_{Ed,b} = [\xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot q_{Ek,1}]$$

$g_{Ek,A}$  = Samlet karakteristisk egenlast av eksisterende- og ev. nye konstruksjonsdeler [ $\text{kN/m}^2$ ], se kapittel 3.2

$g_{Ek,B}$  = Samlet karakteristisk egenlast av ny grønn takoppbygging [ $\text{kN/m}^2$ ], inkl. maksimal vannmagasineringskapasitet, se kapittel 3.3

$q_{Ek,1}$  = Maks av  $\{q_{Ek}$  og  $s_{Ek}\}$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

$q_{Ek}$  = Karakteristisk dominerende nyttelast på tak, se kapittel 3.6

$s_{Ek}$  = Karakteristisk snølast på tak, se kapittel 3.7

$q_{Ek,i}$  = Karakteristisk ikke-dominerende nyttelast på tak, se kapittel 3.6

$\gamma_g$  = 1,35 (lastfaktor for permanente laster)

$\xi \cdot \gamma_g$  = 1,20 (reduert lastfaktor for permanente laster)

$\gamma_q$  = 1,50 (lastfaktor for variable laster)  
(1,35 i pålitelighetsklasse RC1, se tabell 4.1)

$\psi_{0,1}$  = Kombinasjonsfaktor  $\psi_0$  for dominerende variable laster, se tabell 4.1

$\psi_{0,i}$  = Kombinasjonsfaktor  $\psi_0$  for ikke-dominerende variable laster, se tabell 4.1

*Merknad:*

Sannsynligheten for at en eksisterende bærende takkonstruksjon (dekkekonstruksjon) skal kunne benyttes som bæring for ny grønn takoppbygging, uten forsterkningstiltak, er naturligvis størst når forholdet mellom beregnet dimensjonerende belastning ( $p_{Ed}$ ) etter etablering av grønn takoppbygging og beregnet dimensjonerende belastning ( $p_{Ed}$ ) for opprinnelig belastningssituasjon før etablering av grønn takoppbygging iht. uttrykk (4-1) er så liten som mulig. Dvs. når den dimensjonerende belastningen,  $p_{Ed}$ , ikke har økt betydelig pga. ny grønn takoppbygging og ev. økte snølaster, etc. Dette er også illustrert i etterfølgende to eksempler.

#### 4.2.2 Eksempel 1 – Beregning av $p_{Ed}$ – Lett eksisterende bærekonstruksjon

Vi skal bestemme jevnt fordelt dimensjonerende belastning i bruddgrensetilstanden (ULS),  $p_{Ed}$ , iht. uttrykk (4-1) for taket i illustrert i figur 4.1, hhv. *før*- og *etter* etablering av grønn takoppbygging. Eksempelen er helt tilsvarende *etterfølgende eksempel 2*, men her med en lett eksisterende bærekonstruksjon av massivtreelementer.

*Forutsetninger:*

Karakteristisk egenlast ( $g_{Ek,A}$ ) for eksisterende takkonstruksjon, inkl. bærende dekkekonstruksjon:

Eksempel 1 – Med lett bærekonstruksjon:  $g_{Ek,A} = 1,65 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.2.2)

Karakteristisk egenlast ( $g_{Ek,B}$ ) for ny grønn takoppbygging, inkl. maks vannmagasineringskapasitet:

$g_{Ek,B} = 2,30 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.3.2)

Karakteristisk nyttelast ( $q_{Ek}$ ) på tak:

År 1994:  $q_{Ek} = 1,0 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.6.2)

År 2023:  $q_{Ek} = 2,0 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.6.2)

Karakteristisk snølast ( $s_{Ek}$ ) på tak:

År 1994:  $s_{Ek} = 2,8 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.7.3)

År 2023:  $s_{Ek} = 3,6 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.7.3)

*Dimensjonerende belastning før etablering av grønn takoppbygging iht. uttrykk (4-1), dvs. når:*

- $g_{Ek,B} = 0 \text{ kN/m}^2$
- $g_{Ek,A} = 1,65 \text{ kN/m}^2$
- $q_{Ek,1} = \text{Maks av } \{q_{Ek} \text{ og } s_{Ek}\} = \text{Maks av } \{1,0 \text{ og } 2,8\} \text{ kN/m}^2 = 2,8 \text{ kN/m}^2$

$$p_{Ed} = \text{Maks av } \{p_{Ed,a} \text{ og } p_{Ed,b}\} = \{5,2 \text{ og } 6,2\} \text{ kN/m}^2 = \underline{6,2 \text{ kN/m}^2} \text{ (ca. 620 kg/m}^2\text{)}$$

Hvor:

$$p_{Ed,a} = [\gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot \psi_{0,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([1,35 \cdot 1,65 + 1,35 \cdot 0] + [1,50 \cdot 0,7 \cdot 2,8]) \text{ kN/m}^2$$

$$= ([2,23] + [2,94]) \text{ kN/m}^2 \approx 5,2 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{Ed,b} = [\xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot q_{Ek,1}] = ([1,20 \cdot 1,65 + 1,20 \cdot 0] + [1,50 \cdot 2,8]) \text{ kN/m}^2$$

$$= [1,98] \text{ kN/m}^2 + [4,2] \text{ kN/m}^2 \approx 6,2 \text{ kN/m}^2$$

*Dimensjonerende belastning etter etablering av grønn takoppbygging iht. uttrykk (4-1), dvs. når:*

- $g_{Ek,B} = 2,30 \text{ kN/m}^2$  (ny last)
- $g_{Ek,A} = 1,65 \text{ kN/m}^2$  (uendret lett takkonstruksjon)
- $q_{Ek,1} = \text{Maks av } \{q_{Ek} \text{ og } s_{Ek}\} = \text{Maks av } \{2,0 \text{ og } 3,6\} \text{ kN/m}^2 = 3,6 \text{ kN/m}^2$  (økt)

$$p_{Ed} = \text{Maks av } \{p_{Ed,a} \text{ og } p_{Ed,b}\} = \{9,11 \text{ og } 10,1\} \text{ kN/m}^2 = \underline{10,1 \text{ kN/m}^2} \text{ (ca. 1010 kg/m}^2\text{)}$$

Hvor:

$$p_{Ed,a} = [\gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot \psi_{0,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([1,35 \cdot 1,65 + 1,35 \cdot 2,30] + [1,50 \cdot 0,7 \cdot 3,6]) \text{ kN/m}^2$$

$$= ([2,23 + 3,11] + [3,78]) \text{ kN/m}^2 \approx 9,1 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{Ed,b} = [\xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot q_{Ek,1}] = ([1,20 \cdot 1,65 + 1,20 \cdot 2,30] + [1,50 \cdot 3,6]) \text{ kN/m}^2$$

$$= [1,98 + 2,76] \text{ kN/m}^2 + [5,4] \text{ kN/m}^2 \approx 10,1 \text{ kN/m}^2$$

*Kommentar:*

Som vi ser har den dimensjonerende jevnt fordelte lasten ( $p_{Ed}$ ) for takkonstruksjonen økt fra 6,2 kN/m<sup>2</sup> (ca. 620 kg/m<sup>2</sup>) til 10,1 kN/m<sup>2</sup> (ca. 1010 kg/m<sup>2</sup>) når vi lastkombinerer i bruddgrensetilstanden (ULS) for hhv. lastene gjeldende ved byggetidspunkt i år 1994 og ved tidspunkt for planlagt etablering av grønt tak i år 2023. Økningen er i dette eksempelet relatert til økt snølast og tilleggslast pga. ny grønn takoppbygging.

Økt dimensjonerende belastning tilsvarende en faktor på  $10,1 / 6,2 \approx 1,63$ , dvs. en økning av den dimensjonerende lasten på ca. 63% (vs. 32% i etterfølgende eksempel 2).

I praksis betyr dette at dimensjonerende lastvirkninger ( $M_{Ed}$ ,  $V_{Ed}$ ) i takkonstruksjonen også øker med en faktor på 1,63 (63%), og at takkonstruksjonen må ha en tilsvarende minimum overkapasitet mht. bæreevne ( $M_{Rd}$ ,  $V_{Rd}$ ) i bruddgrensetilstanden mht. opprinnelig lastsituasjon, for at en grønn takoppbygging med karakteristisk vannmettet egenlast  $g_{Ek,B} = 2,30$  kN/m<sup>2</sup> skal være gjennomførbart.



### 4.2.3 Eksempel 2 – Beregning av $p_{Ed}$ – Tung eksisterende bærekonstruksjon

Vi skal bestemme jevnt fordelt dimensjonerende belastning i bruddgrensetilstanden (ULS),  $p_{Ed}$ , iht. uttrykk (4-1) for taket i illustrert i figur 4.1, hhv. *før*- og *etter* etablering av grønn takoppbygging. Eksempelen er helt tilsvarende *foregående eksempel 1*, men her med en tung eksisterende bærekonstruksjon av armert plassenstøpt betong.

*Forutsetninger:*

Karakteristisk egenlast ( $g_{Ek,A}$ ) for eksisterende takkonstruksjon, inkl. bærende dekkekonstruksjon:

Eksempel 2 – Med tung bærekonstruksjon:  $g_{Ek,A} = 6,65 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.2.2)

Karakteristisk egenlast ( $g_{Ek,B}$ ) for ny grønn takoppbygging, inkl. maks vannmagasineringskapasitet:

$g_{Ek,B} = 2,30 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.3.2)

Karakteristisk nyttelast ( $q_{Ek}$ ) på tak:

År 1994:  $q_{Ek} = 1,0 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.6.2)

År 2023:  $q_{Ek} = 2,0 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.6.2)

Karakteristisk snølast ( $s_{Ek}$ ) på tak:

År 1994:  $s_{Ek} = 2,8 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.7.3)

År 2023:  $s_{Ek} = 3,6 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.7.3)

*Dimensjonerende belastning før etablering av grønn takoppbygging iht. uttrykk (4-1), dvs. når:*

- $g_{Ek,B} = 0 \text{ kN/m}^2$
- $g_{Ek,A} = 6,65 \text{ kN/m}^2$
- $q_{Ek,1} = \text{Maks av } \{q_{Ek} \text{ og } s_{Ek}\} = \text{Maks av } \{1,0 \text{ og } 2,8\} \text{ kN/m}^2 = 2,8 \text{ kN/m}^2$

$p_{Ed} = \text{Maks av } \{p_{Ed,a} \text{ og } p_{Ed,b}\} = \{11,9 \text{ og } 12,2\} \text{ kN/m}^2 = 12,2 \text{ kN/m}^2$  (ca. 1220 kg/m<sup>2</sup>)

Hvor:

$$p_{Ed,a} = [\gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot \psi_{0,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([1,35 \cdot 6,65 + 1,35 \cdot 0] + [1,50 \cdot 0,7 \cdot 2,8]) \text{ kN/m}^2$$

$$= ([8,98] + [2,94]) \text{ kN/m}^2 \approx 11,9 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{Ed,b} = [\xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot q_{Ek,1}] = ([1,20 \cdot 6,65 + 1,20 \cdot 0] + [1,50 \cdot 2,8]) \text{ kN/m}^2$$

$$= [7,98] \text{ kN/m}^2 + [4,2] \text{ kN/m}^2 \approx 12,2 \text{ kN/m}^2$$

*Dimensjonerende belastning etter etablering av grønn takoppbygging iht. uttrykk (4-1), dvs. når:*

- $g_{Ek,B} = 2,30 \text{ kN/m}^2$  (ny last)
- $g_{Ek,A} = 6,65 \text{ kN/m}^2$  (uendret tung takkonstruksjon)
- $q_{Ek,1} = \text{Maks av } \{q_{Ek} \text{ og } s_{Ek}\} = \text{Maks av } \{2,0 \text{ og } 3,6\} \text{ kN/m}^2 = 3,6 \text{ kN/m}^2$  (økt)

$p_{Ed} = \text{Maks av } \{p_{Ed,a} \text{ og } p_{Ed,b}\} = \{15,9 \text{ og } 16,1\} \text{ kN/m}^2 = 16,1 \text{ kN/m}^2$  (ca. 1610 kg/m<sup>2</sup>)

Hvor:

$$p_{Ed,a} = [\gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot \psi_{0,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([1,35 \cdot 6,65 + 1,35 \cdot 2,30] + [1,50 \cdot 0,7 \cdot 3,6]) \text{ kN/m}^2$$

$$= ([8,98 + 3,11] + [3,78]) \text{ kN/m}^2 \approx 15,9 \text{ kN/m}^2$$

$$p_{Ed,b} = [\xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,A} + \xi \cdot \gamma_g \cdot g_{Ek,B}] + [\gamma_q \cdot q_{Ek,1}] = ([1,20 \cdot 6,65 + 1,20 \cdot 2,30] + [1,50 \cdot 3,6]) \text{ kN/m}^2$$

$$= [7,98 + 2,76] \text{ kN/m}^2 + [5,4] \text{ kN/m}^2 \approx 16,1 \text{ kN/m}^2$$

*Kommentar:*

Som vi ser har den dimensjonerende jevnt fordelte lasten for takkonstruksjonen økt fra 12,2 kN/m<sup>2</sup> (ca. 1220 kg/m<sup>2</sup>) til 16,1 kN/m<sup>2</sup> (ca. 1610 kg/m<sup>2</sup>) når vi lastkombinerer i bruddgrensetilstanden (ULS) for hhv. lastene gjeldende ved byggetidspunkt i år 1994 og ved tidspunkt for planlagt etablering av grønt tak i år 2023. Økningen er i dette eksempelet relatert til økt snølast og tilleggslast pga. ny grønn takoppbygging.

Økt dimensjonerende belastning tilsvarende en faktor på  $16,1 / 12,2 \approx 1,32$ , dvs. en økning av den dimensjonerende lasten på ca. 32% (vs. 63% i foregående eksempel 1).

I praksis betyr dette at dimensjonerende lastvirkninger ( $M_{Ed}$ ,  $V_{Ed}$ ) i takkonstruksjonen også øker med en faktor på 1,32 (32%), og at takkonstruksjonen må ha en tilsvarende minimum overkapasitet mht. bæreevne ( $M_{Rd}$ ,  $V_{Rd}$ ) i bruddgrensetilstanden mht. opprinnelig lastsituasjon, for at en grønn takoppbygging med karakteristisk vannmettet egenlast  $g_{Ek,B} = 2,30$  kN/m<sup>2</sup> skal være gjennomførbart.

## 4.3 Lastkombinering i bruksgrensetilstanden (SLS)

### 4.3.1 Metode – Beregning av $p_{SLS}$

Beregning av dimensjonerende belastning,  $p_{SLS}$ , i bruksgrensetilstanden (SLS) utføres iht. uttrykk (4-2), (4-3) eller (4-4), både for opprinnelig takoppbygging og belastningssituasjon, samt for planlagt takoppbygging og belastningssituasjon etter etablering av grønt tak, se illustrasjon i figur 4.1. Beregningene er iht. og tilpasset pkt. 6.5.3 i NS-EN 1990 [1.0].

#### **Karakteristisk kombinasjon:**

Denne brukes vanligvis for irreversible grensetilstander. Konstruksjoner (tak) der nedbøyning fører til skade, se pkt. NA.A1.4.2 i NS-EN 1990 [1.0]. Krav til begrensning av nedbøyning for denne lasten fastsettes i det enkelte prosjekt.

Inkl. kombinasjon med ikke-dominerende variable laster (sjeldent aktuelt for tak):

$$p_{SLS,Karakteristisk} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [q_{Ek,1}] + [\psi_{0,i} \cdot q_{Ek,i}] \quad [kN/m^2] \quad (4-2a)$$

Uten kombinasjon med ikke-dominerende variable laster (mest vanlig for takkonstruksjoner):

$$p_{SLS,Karakteristisk} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [q_{Ek,1}] \quad [kN/m^2] \quad (4-2b)$$

Hvor:

- $g_{Ek,A}$  = Samlet karakteristisk egenlast av eksisterende- og ev. nye konstruksjonsdeler [ $kN/m^2$ ], se kapittel 3.2
- $g_{Ek,B}$  = Samlet karakteristisk egenlast av ny grønn takoppbygging [ $kN/m^2$ ], inkl. maksimal vannmagasineringskapasitet, se kapittel 3.3
- $q_{Ek,1}$  = Maks av  $\{q_{Ek}$  og  $s_{Ek}\}$   
 $q_{Ek}$  = Karakteristisk dominerende nyttelast på tak, se kapittel 3.6  
 $s_{Ek}$  = Karakteristisk snølast på tak, se kapittel 3.7
- $q_{Ek,i}$  = Karakteristisk ikke-dominerende nyttelast på tak, se kapittel 3.6
- $\psi_{0,i}$  = Kombinasjonsfaktor  $\psi_0$  for ikke-dominerende variable laster, se tabell 4.1

### Ofte forekommende kombinasjon:

Denne brukes vanligvis for reversible grensetilstander. Konstruksjoner (tak) der det på grunn av bruk eller utstyr stilles krav til begrensning av nedbøyning, se *pkt. NA.A1.4.2 i NS-EN 1990 [1.0]*. Krav til begrensning av nedbøyning for denne lasten fastsettes i det enkelte prosjekt.

Inkl. kombinasjon med ikke-dominerende variable laster (sjeldent aktuelt for tak):

$$p_{SLS, OfteForekommende} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{1,1} \cdot q_{Ek,1}] + [\psi_{1,i} \cdot q_{Ek,i}] \quad [kN/m^2] \quad (4-3a)$$

Uten kombinasjon med ikke-dominerende variable laster (mest vanlig for takkonstruksjoner):

$$p_{SLS, OfteForekommende} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{1,1} \cdot q_{Ek,1}] \quad [kN/m^2] \quad (4-3b)$$

Hvor:

$g_{Ek,A}$  = Samlet karakteristisk egenlast av eksisterende- og ev. nye konstruksjonsdeler [ $kN/m^2$ ], se [kapittel 3.2](#)

$g_{Ek,B}$  = Samlet karakteristisk egenlast av ny grønn takoppbygging [ $kN/m^2$ ], inkl. maksimal vannmagasineringskapasitet, se [kapittel 3.3](#)

$q_{Ek,1}$  = Maks av  $\{q_{Ek}$  og  $s_{Ek}\}$

$q_{Ek}$  = Karakteristisk dominerende nyttelast på tak, se [kapittel 3.6](#)

$s_{Ek}$  = Karakteristisk snølast på tak, se [kapittel 3.7](#)

$q_{Ek,i}$  = Karakteristisk ikke-dominerende nyttelast på tak, se [kapittel 3.6](#)

$\psi_{1,1}$  = Faktor for ofte forekommende verdi av den dominerende variable lasten, se [tabell 4.1](#)

$\psi_{1,i}$  = Faktor for ofte forekommende verdi av den ikke-dominerende variable lasten, se [tabell 4.1](#)

### Tilnærmet permanent kombinasjon:

Denne brukes vanligvis for langtidsvirkninger og konstruksjonens utseende. Konstruksjoner (tak) med *alminnelige brukskrav* eller *estetiske krav*, se *pkt. NA.A1.4.2 i NS-EN 1990 [1.0]*. Krav til nedbøyning for denne lasten settes ofte i størrelsesorden  $L/200 - L/250$ , der  $L$  = spennvidde for bærekonstruksjonen.

Inkl. kombinasjon med ikke-dominerende variable laster (sjeldent aktuelt for tak):

$$p_{SLS, Kvasi-permanent} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{2,1} \cdot q_{Ek,1}] + [\psi_{2,i} \cdot q_{Ek,i}] \quad [kN/m^2] \quad (4-4a)$$

Uten kombinasjon med ikke-dominerende variable laster (mest vanlig for takkonstruksjoner):

$$p_{SLS, Kvasi-permanent} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{2,1} \cdot q_{Ek,1}] \quad [kN/m^2] \quad (4-4b)$$

Hvor:

$g_{Ek,A}$  = Samlet karakteristisk egenlast av eksisterende- og ev. nye konstruksjonsdeler [ $kN/m^2$ ], se [kapittel 3.2](#)

$g_{Ek,B}$  = Samlet karakteristisk egenlast av ny grønn takoppbygging [ $kN/m^2$ ], inkl. maksimal vannmagasineringskapasitet, se [kapittel 3.3](#)

$q_{Ek,1}$  = Maks av  $\{q_{Ek}$  og  $s_{Ek}\}$

$q_{Ek}$  = Karakteristisk dominerende nyttelast på tak, se [kapittel 3.6](#)

$s_{Ek}$  = Karakteristisk snølast på tak, se [kapittel 3.7](#)

$q_{Ek,i}$  = Karakteristisk ikke-dominerende nyttelast på tak, se [kapittel 3.6](#)

$\psi_{2,1}$  = Faktor for tilnærmet permanent verdi av den dominerende variable lasten, se [tabell 4.1](#)

$\psi_{2,i}$  = Faktor for tilnærmet permanent verdi av den ikke-dominerende variable lasten, se [tabell 4.1](#)

### 4.3.2 Eksempel 1 – Beregning av $p_{SLS}$ – Lett eksisterende bærekonstruksjon

Vi skal bestemme jevnt fordelt dimensjonerende belastning i bruksgrensetilstanden (SLS),  $p_{SLS}$ , iht. uttrykk (4-2b) til (4-4b) for taket i illustrert i figur 4.1, hhv. *før*- og *etter* etablering av grønn takoppbygging. Eksempelen er helt tilsvarende *etterfølgende eksempel 2*, men her med en lett eksisterende bærekonstruksjon.

*Forutsetninger:*

Karakteristisk egenlast ( $g_{Ek,A}$ ) for eksisterende takkonstruksjon, inkl. bærende dekkekonstruksjon:

Tilfelle 1 – Med lett bærekonstruksjon:  $g_{Ek,A} = 1,65 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.2.2)

Karakteristisk egenlast ( $g_{Ek,B}$ ) for ny grønn takoppbygging, inkl. maks vannmagasineringskapasitet:

$g_{Ek,B} = 2,30 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.3.2)

Karakteristisk nyttelast ( $q_{Ek}$ ) på tak:

År 1994:  $q_{Ek} = 1,0 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.6.2)

År 2023:  $q_{Ek} = 2,0 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.6.2)

Karakteristisk snølast ( $s_{Ek}$ ) på tak:

År 1994:  $s_{Ek} = 2,8 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.7.3)

År 2023:  $s_{Ek} = 3,6 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.7.3)

**Karakteristisk kombinasjon iht. uttrykk (4-2b):**

*Dimensjonerende belastning før etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,Karakteristisk} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [q_{Ek,1}] = ([1,65 + 0] + [2,8]) \text{ kN/m}^2 = \underline{4,45 \text{ kN/m}^2}$$

*Dimensjonerende belastning etter etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,Karakteristisk} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [q_{Ek,1}] = ([1,65 + 2,30] + [3,6]) \text{ kN/m}^2 = \underline{7,55 \text{ kN/m}^2}$$

Økt belastning:  $7,55/4,45 \approx \underline{1,70}$  (ca. 70%)

**Ofte forekommende kombinasjon iht. uttrykk (4-3b):**

*Dimensjonerende belastning før etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,OfteForekommende} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{1,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([1,65 + 0] + [0,5 \cdot 2,8]) \text{ kN/m}^2 = \underline{3,05 \text{ kN/m}^2}$$

*Dimensjonerende belastning etter etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,OfteForekommende} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{1,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([1,65 + 2,30] + [0,5 \cdot 3,6]) \text{ kN/m}^2 = \underline{5,75 \text{ kN/m}^2}$$

Økt belastning:  $5,75/3,05 \approx \underline{1,88}$  (ca. 88%)

**Tilnærmet permanent kombinasjon iht. uttrykk (4-4b):**

*Dimensjonerende belastning før etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,OfteForekommende} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{2,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([1,65 + 0] + [0,2 \cdot 2,8]) \text{ kN/m}^2 = \underline{2,21 \text{ kN/m}^2}$$

*Dimensjonerende belastning etter etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,OfteForekommende} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{2,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([1,65 + 2,30] + [0,2 \cdot 3,6]) \text{ kN/m}^2 = \underline{4,67 \text{ kN/m}^2}$$

Økt belastning:  $4,67/2,21 \approx \underline{2,11}$  (ca. 211%)

### *Kommentar til eksempel 1:*

Som vi ser har den dimensjonerende jevnt fordelte lasten for takkonstruksjonen økt med hhv. ca. 70%, 80% og 211% når vi lastkombinerer i brukgrensetilstander for lastene gjeldende ved byggetidspunkt i år 1994 og ved tidspunkt for planlagt etablering av grønt tak i år 2023. Økningen er i dette eksempelet relatert til økt snølast og tilleggslast pga. ny grønn takoppbygging.

Den relative lastøkningen bli størst når vi betrakter tilnærmet permanent lastsituasjon, noe som er naturlig da laster pga. grønn takoppbygging, inkl. maks vannmagasineringskapasitet, i sin helhet medregnes som egenlast (100% permanent last). Den relative lastøkningen i dette tilfellet blir spesielt stor (211%) i tilnærmet permanent lastsituasjon pga. en lett bærekonstruksjon (se etterfølgende eksempel 2 for tilsvarende beregninger for en tung bærekonstruksjon). Ved påvisning av takkonstruksjonens nedbøyning betyr dette i praksis at beregnede nedbøyninger pga. tilnærmet permanente laster vil øke med en faktor på ca. 2,11 (vs. 1,34 i etterfølgende eksempel 2) når vi sammenligner opprinnelig lastsituasjon og ny lastsituasjon etter etablering av grønt tak.



### 4.3.3 Eksempel 2 – Beregning av $p_{SLS}$ – Tung eksisterende bærekonstruksjon

Vi skal bestemme jevnt fordelt dimensjonerende belastning i bruksgrensetilstanden (SLS),  $p_{SLS}$ , iht. uttrykk (4-2b) til (4-4b) for taket i illustrert i figur 4.1, hhv. *før*- og *etter* etablering av grønn takoppbygging. Eksempellet er helt tilsvarende *foregående eksempel 1*, men her med en tung eksisterende bærekonstruksjon.

*Forutsetninger:*

Karakteristisk egenlast ( $g_{Ek,A}$ ) for eksisterende takkonstruksjon, inkl. bærende dekkekonstruksjon:

Tilfelle 2 – Med tung bærekonstruksjon:  $g_{Ek,A} = 6,65 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.2.2)

Karakteristisk egenlast ( $g_{Ek,B}$ ) for ny grønn takoppbygging, inkl. maks vannmagasineringskapasitet:

$g_{Ek,B} = 2,30 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.3.2)

Karakteristisk nyttelast ( $q_{Ek}$ ) på tak:

År 1994:  $q_{Ek} = 1,0 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.6.2)

År 2023:  $q_{Ek} = 2,0 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.6.2)

Karakteristisk snølast ( $s_{Ek}$ ) på tak:

År 1994:  $s_{Ek} = 2,8 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.7.3)

År 2023:  $s_{Ek} = 3,6 \text{ kN/m}^2$  (fra eksempelet i kapittel 3.7.3)

**Karakteristisk kombinasjon iht. uttrykk (4-2b):**

*Dimensjonerende belastning før etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,Karakteristisk} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [q_{Ek,1}] = ([6,65 + 0] + [2,8]) \text{ kN/m}^2 = \underline{9,45 \text{ kN/m}^2}$$

*Dimensjonerende belastning etter etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,Karakteristisk} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [q_{Ek,1}] = ([6,65 + 2,30] + [3,6]) \text{ kN/m}^2 = \underline{12,55 \text{ kN/m}^2}$$

Økt belastning:  $12,55/9,45 \approx \underline{1,33}$  (ca. 33% vs. ca. 70% i foregående eksempel 1)

**Ofte forekommende kombinasjon iht. uttrykk (4-3b):**

*Dimensjonerende belastning før etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,OfteForekommende} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{1,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([6,65 + 0] + [0,5 \cdot 2,8]) \text{ kN/m}^2 = \underline{8,05 \text{ kN/m}^2}$$

*Dimensjonerende belastning etter etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,OfteForekommende} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{1,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([6,65 + 2,30] + [0,5 \cdot 3,6]) \text{ kN/m}^2 = \underline{10,75 \text{ kN/m}^2}$$

Økt belastning:  $10,75/8,05 \approx \underline{1,34}$  (ca. 34% vs. ca. 88% i foregående eksempel 1)

**Tilnærmet permanent kombinasjon iht. uttrykk (4-4b):**

*Dimensjonerende belastning før etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,OfteForekommende} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{2,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([6,65 + 0] + [0,2 \cdot 2,8]) \text{ kN/m}^2 = \underline{7,21 \text{ kN/m}^2}$$

*Dimensjonerende belastning etter etablering av grønn takoppbygging:*

$$p_{SLS,OfteForekommende} = [g_{Ek,A} + g_{Ek,B}] + [\psi_{2,1} \cdot q_{Ek,1}] = ([6,65 + 2,30] + [0,2 \cdot 3,6]) \text{ kN/m}^2 = \underline{9,67 \text{ kN/m}^2}$$

Økt belastning:  $9,67/7,21 \approx \underline{1,34}$  (ca. 34% vs. ca. 211% i foregående eksempel 1)

#### Kommentar til eksempel 2:

Som vi ser har den dimensjonerende jevnt fordelte lasten for takkonstruksjonen økt med hhv. ca. 33%, 34% og 34% når vi lastkombinerer i brukgrensetilstander for lastene gjeldende ved byggetidspunkt i år 1994 og ved tidspunkt for planlagt etablering av grønt tak i år 2023. Økningen er i dette eksempelet relatert til økt snølast og tilleggslast pga. ny grønn takoppbygging.

Den relative lastøkningen bli størst når vi betrakter tilnærmet permanent lastsituasjon, noe som er naturlig da laster pga. grønn takoppbygging, inkl. maks vannmagasineringskapasitet, i sin helhet medregnes som egenlast (100% permanent last). Den relative lastøkningen for tilnærmet permanent lastsituasjon blir i dette tilfellet betydelig mindre (34% vs. 211%) enn det vi beregnet i foregående eksempel 1 der vi så på en lett bærekonstruksjon. Ved påvisning av takkonstruksjonens nedbøyning betyr dette i praksis at beregnede nedbøyninger pga. tilnærmet permanente laster vil øke med en faktor på ca. 1,34 (vs. 2,11 i foregående eksempel 1) når vi sammenligner opprinnelig lastsituasjon og ny lastsituasjon etter etablering av grønt tak.

## 4.4 Lastkombinering i ulykkesgrensetilstanden - brann (ALS)

Beregning av dimensjonerende belastning,  $p_{Ed,fi}$ , i ulykkesgrensetilstanden brann (ALS) utføres iht. uttrykk (4-5), både for opprinnelig takoppbygging og belastningssituasjon, samt for planlagt takoppbygging og belastningssituasjon etter etablering av grønt tak, se illustrasjon i figur 4.1. Beregningene er iht. og tilpasset pkt. 6.4.3.3 i NS-EN 1990 [1.0] og pkt. NA.4.3.1(2) og 4.3.2 i NS-EN 1991-1-2 [1.2].

Pga. at vi i Norge benytter kombinasjonsfaktoren  $\psi_2$  for variable laster i grensetilstanden brann (med unntak av vind), dvs. faktor for tilnærmet permanent verdi av den aktuelle variable lasten, blir lastene som takkonstruksjonen skal beregnes for i grensetilstanden brann tilsvarende som for tilnærmet permanent lastsituasjon i bruksgrensetilstanden (SLS), se uttrykk (4-4) i foregående kapittel 4.3. Dette forenkler antall lastkombinasjoner som taket må beregnes særskilt for.

Belastning i grensetilstanden brann:

$$P_{Ed,fi} = p_{SLS,Kvasi-permanent} \quad (4-5)$$

Hvor:

$p_{SLS,Kvasi-permanent}$  = Tilnærmet permanent verdi av belastning på takkonstruksjonen, beregnet iht. uttrykk (4-4) i kapittel 4.3.

Eksempler for beregning av belastningssituasjonen for taket i grensetilstanden brann, hhv. før- og etter etablering av grønn takoppbygging blir da helt tilsvarende som vist i foregående to eksempler i kapittel 4.3.2 (for lett takkonstruksjon) og kapittel 4.3.3 (for tung takkonstruksjon).

## 5 DOKUMENTASJON AV BÆREEVNE

### 5.1 Regelverk og konstruksjonsstandarder

I henhold til Byggeteknisk forskrift kan krav til bæreevne og stabilitet for bygg oppfylles ved prosjektering etter NS-EN 1990 (Eurokode) og underliggende standarder i serien NS-EN 1991 til NS-EN 1999, med tilhørende nasjonale tillegg. Disse standardene har erstattet de tidligere norske prosjekteringsstandardene i NS 34xx-serien, som ble trukket tilbake i mars 2010.

De mest relevante standarder (med flere delstandarder) for bærende konstruksjoner er:

- NS-EN 1990 (Eurokode) omfatter grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
- NS-EN 1991 (Eurokode 1) omfatter laster på konstruksjoner
- NS-EN 1992 (Eurokode 2) omfatter prosjektering av betongkonstruksjoner
- NS-EN 1993 (Eurokode 3) omfatter prosjektering av stålkonstruksjoner
- NS-EN 1994 (Eurokode 4) omfatter prosjektering av samvirkekonstruksjoner av stål og betong
- NS-EN 1995 (Eurokode 5) omfatter prosjektering av trekonstruksjoner

Standarden for prosjektering av trekonstruksjoner, NS-EN 1995 (Eurokode 5), er ikke tilpasset prosjektering av konstruksjonselementer i massivtre, men deler av standarden er aktuelle å bruke. Rådgivende ingeniør bygg (RIB) må gjøre egne vurderinger der NS-EN 1995 (Eurokode 5) ikke er dekkende.

For prosjektering av massivtre-elementer brukes ofte programvare utviklet av elementprodusenten. Man må forsikre seg om at programvaren har beregningsforutsetninger som er egnet for- og eventuelt tilpasset norske forhold og anbefalinger. Ref. Byggdetaljer 520.205 [\[3.2\]](#).

## 5.2 Oversikt prosess

Flytskjema i [figur 5.1](#) viser skjematisk hvordan kartlegging og endelig dokumentasjon av bæreevne og stivhet for eksisterende takkonstruksjoner med ny grønn takoppbygging utføres i prinsipp, herunder med kartlegging av konstruksjon og laster som gjennomgått i foregående [kapittel 2.5](#), [3](#) og [4](#), samt påfølgende endelig dokumentasjon av bæreevne i bruddgrensetilstanden (ULS), i grensetilstanden brann (ALS) og i bruksgrensetilstanden (SLS), som vist i etterfølgende [kapittel 5.3](#), [5.4](#) og [5.5](#).

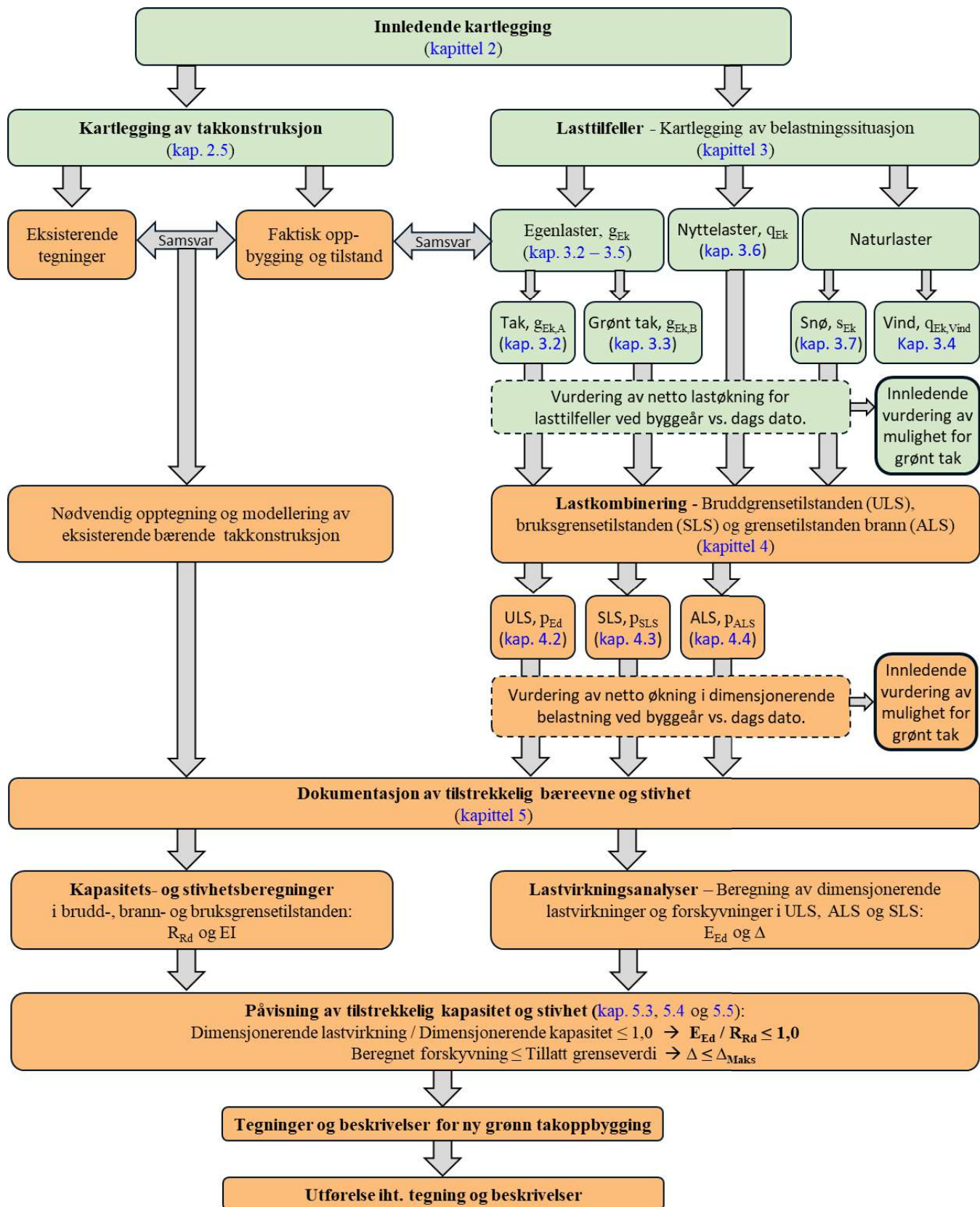
Bokser markert med *grønn farge* i flytskjemaet i [figur 5.1](#) gjelder forhold og vurderinger som byggeiere i stor grad kan utføre selv, som underlag for:

- Innledende vurderinger av mulighet for etablering av grønt tak
- Tilrettelegging for rådgivende ingeniør bygg (RIB)

Øvrige bokser markert med *oransje farge* i flytskjemaet i [figur 5.1](#) gjelder beregninger, vurderinger og dokumentasjon som i stor grad må utføres av rådgivende ingeniør bygg (RIB).

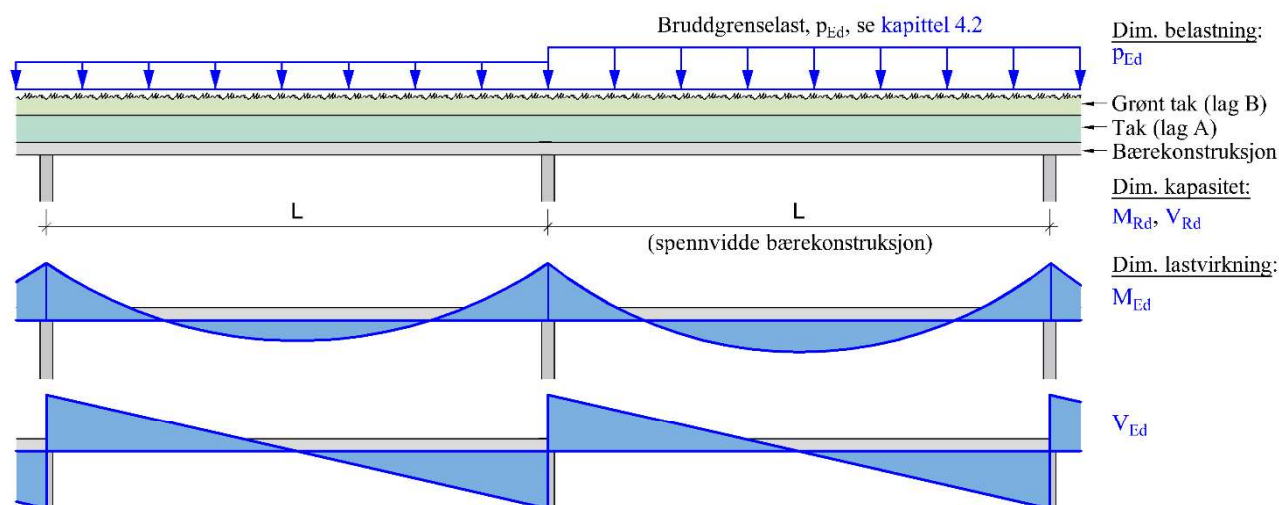
Av flytskjemaet i [figur 5.1](#) ser vi at det er fullt mulig å gjennomføre innledende vurderinger av mulighet for etablering av grønt tak allerede i forbindelse med *kartlegging av belastningssituasjonen (lasttilfeller)* ved at man foretar vurdering av netto lastøkning for lasttilfeller ved byggeår vs. dags dato (se eksempler i [kapittel 3](#)), og i forbindelse med *lastkombinering* og vurdering av netto økning i dimensjonerende belastning ved byggeår vs. dags dato (se eksempler i [kapittel 4](#)). Disse innledende vurderingene kan i prinsipp utføres i tidlig fase av byggeier eller andre, også før man har undersøkt tilstand og bæreevne i eksisterende takkonstruksjon. Disse innledende vurderingene gir nyttig oversikt over hvilken overkapasitet eksisterende takkonstruksjon må ha for opprinnelig lastsituasjon, for at planlagt grønn takoppbygging skal være gjennomførbar uten forsterkningstiltak.

Ansvarlig rådgivende ingeniør bygg (RIB) utarbeider entydige beregninger og tegninger, der tegning og beskrivelse for ny grønn takoppbygging må samsvare med forutsatte laster, samtidig som de danner et entydig grunnlag for utførelse som sikrer at påførte egenlaster fra ny grønn takoppbygging (se [kapittel 3.3](#)) er iht. forutsetningene lagt til grunn ved lastberegninger og kapasitetskontroll av takets bærekonstruksjoner.



**Figur 5.1** Flytskjema – Dokumentasjon av bæreevne for eksisterende takkonstruksjoner med ny grønn takoppbygging

### 5.3 Dokumentasjon av bæreevne i bruddgrensetilstanden (ULS)



**Figur 5.2** Prinsippsnitt gjennom takkonstruksjon i bruddgrensetilstanden (ULS), inkl. angivelse av dimensjonerende bruddgrenselastlast ( $p_{Ed}$ ), dimensjonerende lastvirkninger ( $M_{Ed}$  og  $V_{Ed}$ ) og dimensjonerende tverrsnittskapasiteter ( $M_{Rd}$  og  $V_{Rd}$ )

Tilstrekkelig bæreevne i bruddgrensetilstanden (ULS) påvises ved dokumentasjon av eksisterende takkonstruksjons tverrsnittskapasitet i alle relevante områder av takkarealet:

- Påvisning av momentkapasitet:  $M_{Ed} / M_{Rd} \leq 1,0$
- Påvisning av skjærkapasitet:  $V_{Ed} / V_{Rd} \leq 1,0$

Hvor:

$M_{Ed}$  = Dimensjonerende *momentvirkning* i betraktet snitt av takkonstruksjonen, beregnet med input av dimensjonerende laster,  $p_{Ed}$  (se kapittel 4.2), i bruddgrensetilstanden (ULS)

$V_{Ed}$  = Dimensjonerende *skjærvirkning* i betraktet snitt av takkonstruksjonen, beregnet med input av dimensjonerende laster,  $p_{Ed}$  (se kapittel 4.2), i bruddgrensetilstanden (ULS)

$M_{Rd}$  = Dimensjonerende *momentkapasitet* i betraktet snitt av takkonstruksjonen, i bruddgrensetilstanden (ULS)

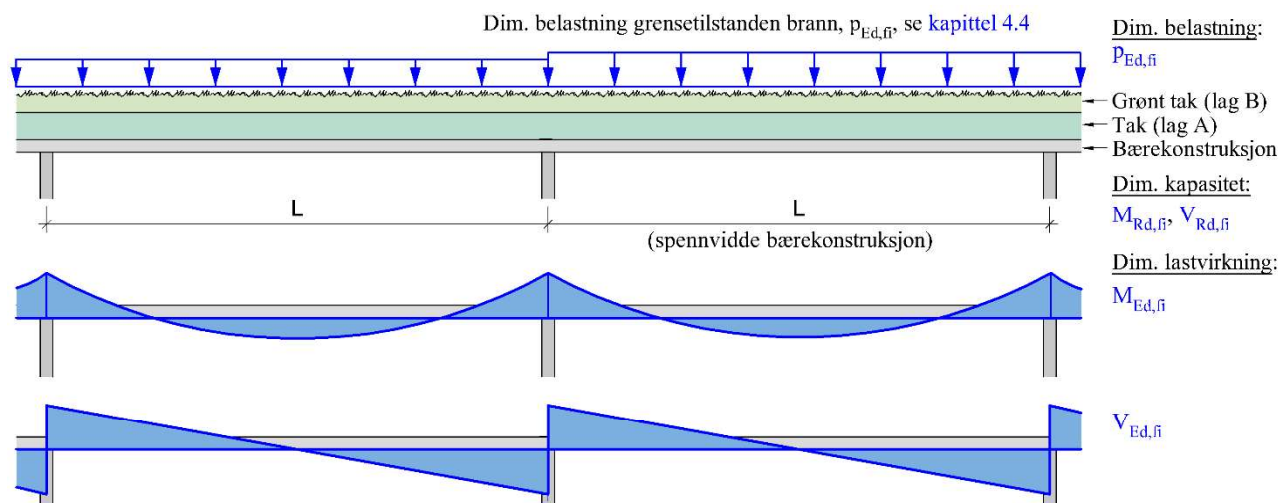
$V_{Rd}$  = Dimensjonerende *skjærkapasitet* i betraktet snitt av takkonstruksjonen, i bruddgrensetilstanden (ULS)

$M_{Rd}$  og  $V_{Rd}$  beregnes med input av:

- Riktig tverrsnitt av den bærende takkonstruksjonen, fastsatt fra tegninger og/eller oppmåling på konstruksjonen, se kapittel 2.5.
- Benyttelse av gjeldende konstruksjonsstandarder for aktuell konstruksjonstype, herunder:
  - Betongkonstruksjoner: NS-EN 1992-1-1 [1.9]
  - Hulldekkekonstruksjoner: NS-EN 1992-1-1 [1.9] og NS-EN 1168 [1.17]
  - Stålkonstruksjoner: NS-EN 1993-1-1 [1.11]
  - Samvirkekonstruksjon stål/betong: NS-EN 1994-1-1 [1.13]
  - Trekonstruksjoner: NS-EN 1995-1-1 [1.15]



## 5.4 Dokumentasjon av bæreevne i grensetilstanden brann (ALS)



**Figur 5.3** Prinsippsnitt gjennom takkonstruksjon i ulykkesgrensetilstanden brann (ALS), inkl. angivelse av dimensjonerende last ( $p_{Ed,fi}$ ), dimensjonerende lastvirkninger ( $M_{Ed,fi}$  og  $V_{Ed,fi}$ ) og dimensjonerende tverrsnittskapasiteter ( $M_{Rd,fi}$  og  $V_{Rd,fi}$ )

Tilstrekkelig bæreevne i bruddgrensetilstanden (ULS) påvises ved dokumentasjon av eksisterende takkonstruksjons tverrsnittskapasitet i alle relevante områder av takkarealet:

- Påvisning av momentkapasitet:  $M_{Ed,fi} / M_{Rd,fi} \leq 1,0$
- Påvisning av skjærkapasitet:  $V_{Ed,fi} / V_{Rd,fi} \leq 1,0$

Hvor:

$M_{Ed,fi}$  = Dimensjonerende *momentvirkning* i betraktet snitt av takkonstruksjonen, beregnet med input av dimensjonerende laster,  $p_{ALS,Brann}$  (se kapittel 4.4), i grensetilstanden brann (ALS)

$V_{Ed,fi}$  = Dimensjonerende *skjærvirkning* i betraktet snitt av takkonstruksjonen, beregnet med input av dimensjonerende laster,  $p_{ALS,Brann}$  (se kapittel 4.4), i grensetilstanden brann (ALS)

$M_{Rd,fi}$  = Dimensjonerende *momentkapasitet* i betraktet snitt av takkonstruksjonen, i grensetilstanden brann (ALS)

$V_{Rd,fi}$  = Dimensjonerende *skjærkapasitet* i betraktet snitt av takkonstruksjonen, i grensetilstanden brann (ALS)

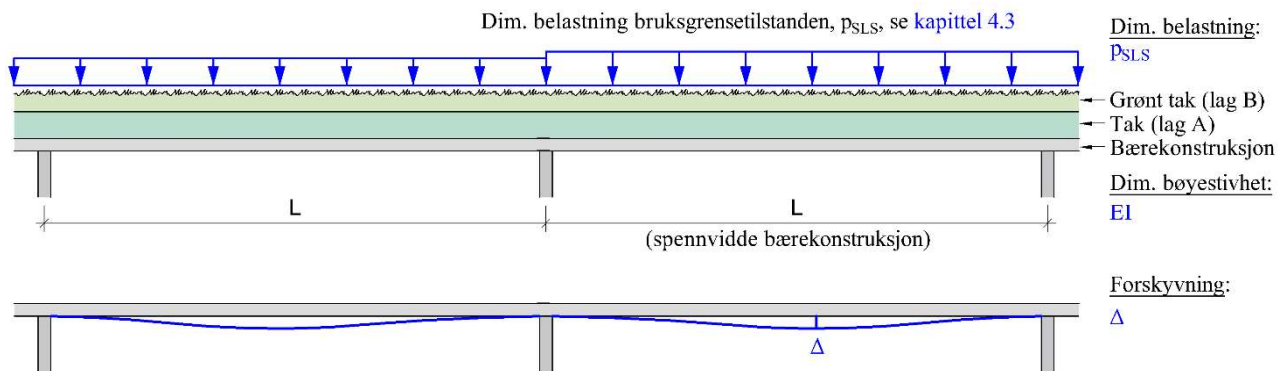
$M_{Rd,fi}$  og  $V_{Rd,fi}$  beregnes med input av:

- Riktig tverrsnitt av den bærende takkonstruksjonen, fastsatt fra tegninger og/eller oppmåling på konstruksjonen, se kapittel 2.5.
- Benyttelse av gjeldende standarder (brann) for aktuell konstruksjonstype, herunder:
  - Betongkonstruksjoner: *NS-EN 1992-1-2* [1.10]
  - Hulldekkekonstruksjoner: *NS-EN 1992-1-2* [1.10] og *NS-EN 1168* [1.17]
  - Stålkonstruksjoner: *NS-EN 1993-1-2* [1.12]
  - Samvirkekonstruksjon stål/betong: *NS-EN 1994-1-2* [1.14]
  - Trekonstruksjoner: *NS-EN 1995-1-2* [1.16]

*Merknad:*

I de fleste tilfeller vil påvisning av tilstrekkelig bæreevne i grensetilstanden brann kunne utføres etter forenklete- og preaksepterte metoder beskrevet i de nevnte standardene for brannteknisk dimensjonering på foregående side, der man foretar påvisning av kapasitet forenklet uten beregning av  $M_{Rd,Brann}$  og  $V_{Rd,Brann}$  for brannpåvirket tverrsnitt.

## 5.5 Dokumentasjon av bæreevne/stivhet i bruksgrensetilstanden (SLS)



**Figur 5.4** Prinsippsnitt gjennom takkonstruksjon i bruksgrensetilstanden (SLS), inkl. angivelse av dimensjonerende laster ( $p_{SLS}$ ), dimensjonerende bøyestivhet ( $EI$ ) og forskyvninger ( $\Delta$ )

Hvilke maksimale forskyvninger som er akseptabel for den aktuelle takkonstruksjonen må vurderes i det enkelte tilfelle. Tilstrekkelig stivhet må vurderes i det enkelte tilfelle. bæreevne i bruddgrensetilstanden (ULS) påvises ved dokumentasjon av eksisterende takkonstruksjons tverrsnittskapasitet i alle relevante områder av takkarealet:

Påvisning av tilstrekkelig stivhet i dekke- og bjelkekonstruksjoner slik at:

$$\Delta \leq \Delta_{Maks}$$

Hvor:

$\Delta_{Maks}$  = Maks tillatt forskyvning (nedbøyning) av takkonstruksjonen \*

$\Delta$  = Forskyvning (nedbøyning) av bærekonstruksjonen, beregnet med bakgrunn i:

- Riktig tverrsnitt og tilhørende bøyestivhet ( $EI$ ) av den bærende takkonstruksjonen beregnet fastsatt iht. fra tegninger og/eller oppmåling på konstruksjonen, se [kapittel 2.5](#)
- Belastning i bruksgrensetilstanden (SLS), hhv. karakteristisk lastverdi, ofte forekommende lastverdi eller tilnærmet permanent lastverdi, se [kapittel 4.3](#)
- Benyttelse av gjeldende konstruksjonsstandarder for aktuell konstruksjonstype, herunder:
  - Betongkonstruksjoner: [NS-EN 1992-1-1 \[1.9\]](#)
  - Hulldekkekonstruksjoner: [NS-EN 1992-1-1 \[1.9\]](#) og [NS-EN 1168 \[1.17\]](#)
  - Stålkonstruksjoner: [NS-EN 1993-1-1 \[1.11\]](#)
  - Samvirkekonstruksjon stål/betong: [NS-EN 1994-1-1 \[1.13\]](#)
  - Trekonstruksjoner: [NS-EN 1995-1-1 \[1.15\]](#)

\* Dersom ikke annet er bestemt spesifikt for den aktuelle takkonstruksjonen, vil det i de fleste tilfeller være tilstrekkelig å sette krav til maks forskyvning ( $\Delta_{Maks}$ ) iht. krav gitt for konstruksjoner med alminnelige brukskrav / estetiske krav slik dette er definert under brukbarhetskriterier i pkt. NA.A1.4.2 i [NS-EN 1990 \[1.0\]](#).

## 6 REFERANSER OG LITTERATUR

### Standarder:

- [1.0] NS-EN 1990 – Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
- [1.1] NS-EN 1991-1-1 – Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-3: Allmenne laster. Tetthet, egenvekt, nyttelaster i bygninger
- [1.2] NS-EN 1991-1-2 – Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-2: Allmenne laster. Laster på konstruksjoner ved brann
- [1.3] NS-EN 1991-1-3 – Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-3: Allmenne laster. Snølaster
- [1.4] NS-EN 1991-1-4 – Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-4: Allmenne laster. Vindlaster
- [1.5] NS-EN 1991-1-5 – Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-5: Allmenne laster. Termiske påvirkninger
- [1.6] NS-EN 1991-1-6 – Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-6: Allmenne laster. Laster under utførelse
- [1.7] NS 3840 – Grønn tak. Planlegging, prosjektering, utførelse, skjøtsel og drift. Ekstensive tak.
- [1.8] NS 3845 – Blågrønn faktor. Beregningsmetode og vektingsfaktorer
- [1.9] NS-EN 1992-1-1 – Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.
- [1.10] NS-EN 1992-1-2 – Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering.
- [1.11] NS-EN 1993-1-1 – Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.
- [1.12] NS-EN 1993-1-2 – Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner. Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering.
- [1.13] NS-EN 1994-1-1 – Eurokode 4: Prosjektering av samvirkekonstruksjoner av stål og betong. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.
- [1.14] NS-EN 1994-1-2 – Eurokode 4: Prosjektering av samvirkekonstruksjoner av stål og betong. Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering.
- [1.15] NS-EN 1995-1-1 – Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger.
- [1.16] NS-EN 1995-1-2 – Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner. Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering
- [1.17] NS-EN 1168 – Prefabrikkerte betongprodukter. Hulldekker
- [1.18] NS 3682 – Hulldekker av betong til ombruk
- [1.19] NS 3424 – *Tilstandsanalyse av byggverk – Innhold og gjennomføring*

**Retningslinjer:**

- [2.1] FLL – Green Roof Guidelines – Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs. 2018 edition

**Byggforskserien:**

- [3.1] Byggdetaljer 471.031 – Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler
- [3.2] Byggdetaljer 525.002 - Takformer, taktyper og oppbygning
- [3.3] Byggdetaljer 525.101 - Skrå, luftede tretak med isolerte takflater
- [3.4] Byggdetaljer 525.207 - Kompakte tak
- [3.5] Byggdetaljer 520.205 – Planlegging av bygninger med KLT-elementer
- [3.6] Byggdetaljer 525.207 - Kompakte tak
- [3.7] Byggdetaljer 525.306 – Terrasser med beplantning på bærende betongdekker
- [3.8] Byggdetaljer 544.803 – Torvtak
- [3.9] Byggdetaljer 544.823 – Sedumtak
- [3.10] Byggforvaltning 614.016 – Byggebestemmelser 1924-1996 Krav til utførelse
- [3.11] Byggforvaltning 700.305 – Tilstandsanalyse av byggverk – innhold og gjennomføring
- [3.12] Byggforvaltning 720.612 – Oppbygning av konstruksjoner. Kartlegging og undersøkelse
- [3.13] Byggforvaltning 744.803 – Tradisjonelle torvtak

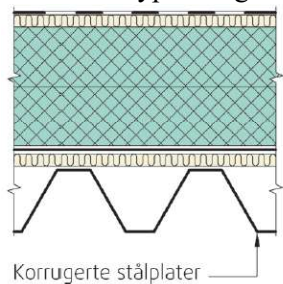
**Annen aktuell litteratur:**

- [4.1] Elvebakk K, Time B, Skjeldrum PM & Kvande T: Ombygging til blågrønne og blågrå tak. Problemstillinger og sjekklistor. Klima 2050 Report 10. Trondheim, 2018. ISBN 978-82-536-1583-7
- [4.2] Andenæs E, Time B, Muthanna T & Kvande T: Risikorammeverk for blågrønne tak. Klima 2050 Rapport 30, Trondheim 2022. ISBN 978-82-536-1736-7
- [4.3] Sivertsen E, Bruaset S, Maurin N, Abdallah E.M.H & Raspati G: Overvannshåndtering med fordøyende tak. Klima 2050 Report 47. Trondheim 2023. ISBN 978-82-536-1811-1
- [4.4] Sivertsen E, Maurin N, Time B & Muthanna TM: Klima 2050 og testing av blågrønne tak på Høvringen. Vann 03/2023. s 199 – 207
- [4.5] Kolstad, S: TPF-Informerer nr 15 -Innfesting av solanlegg på kompakte tak – råd og anbefalinger (2022)

## VEDLEGG A – Egenlaster for takkonstruksjoner

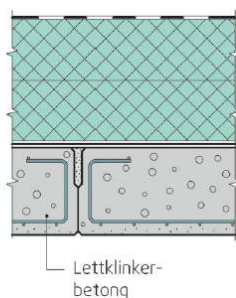
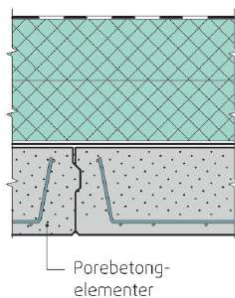
Egenlaster for typiske sammensatte takkonstruksjoner (flere sjikt) som kan brukes til overslagsberegninger, ref. *Byggforskseriens anvisning 471. 031*.

Tabell A1 Typiske egenlaster for tak med bæresystem av korrugerte stålplater



| Konstruksjon og taktekning                                                              | Isolasjon             | Egenlast<br>kN/m <sup>2</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Korrugerte stålplater, asfalttakbelegg, mekanisk festet folie- eller metallplatetekning | Ca. 350 mm polystyren | 0,4                           |
|                                                                                         | Ca. 350 mm mineralull | 0,7                           |

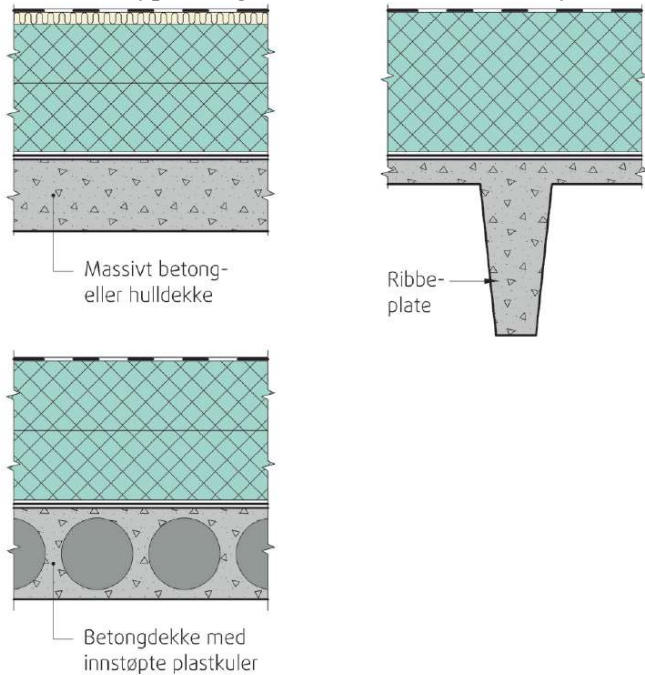
Tabell A2 Typiske egenlaster for tak med bæresystem av lettbetong



| Konstruksjon og taktekning                                                                                               | Isolasjon             | Egenlast<br>kN/m <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 250 mm porebetongelementer (1,38 kN/m <sup>2</sup> ) og taktekning av asfalttakbelegg eller mekanisk festet folietekning | Ca. 350 mm polystyren | 1,6                           |
|                                                                                                                          | Ca. 350 mm mineralull | 2,0                           |
| 250 mm lettklinkerbetong (2,0 kN/m <sup>2</sup> ) og taktekning av asfalttakbelegg eller mekanisk festet folietekning    | Ca. 350 mm polystyren | 2,2                           |
|                                                                                                                          | Ca. 350 mm mineralull | 2,6                           |

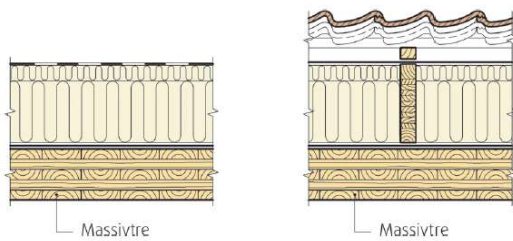


Tabell A3 Typiske egenlaster for tak med bæresystem av betong



| Konstruksjon og taktekning                                                                                                                                                     | Isolasjon             | Egenlast<br>kN/m <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 150 mm massiv betong (3,8 kN/m <sup>2</sup> ) eller ca. 265 mm hulldekkeelementer (3,8 kN/m <sup>2</sup> ) og taktekning av asfalttakbelegg eller mekanisk festet folietekning | Ca. 350 mm polystyren | 4,0                           |
|                                                                                                                                                                                | Ca. 350 mm mineralull | 4,4                           |
| Tillegg for 250 mm massiv betong: 2,5 kN/m <sup>2</sup>                                                                                                                        |                       |                               |
| Ca. 500 mm massivt tak av ribbeplater eller tilsvarende (3,0 kN/m <sup>2</sup> ) og taktekning av asfalttakbelegg eller mekanisk festet folietekning                           | Ca. 350 mm polystyren | 3,2                           |
|                                                                                                                                                                                | Ca. 350 mm mineralull | 3,6                           |
| 230 mm betongdekker med innstøpte plastkuler (3,9 kN/m <sup>2</sup> ) og taktekning av asfalttakbelegg eller mekanisk festet folietekning                                      | Ca. 350 mm polystyren | 4,1                           |
|                                                                                                                                                                                | Ca. 350 mm mineralull | 4,5                           |

Tabell A4 Typiske egenlaster for tak med bæresystem av massivtreelementer



| Konstruksjon                                               | Isolasjon                                                        | Taktekning                                                               | Egenlast<br>kN/m <sup>2</sup> |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 160 mm<br>massivtreelementer<br>(0,8 kN/m <sup>2</sup> )   | 250 mm trykkfast<br>mineralull                                   | Asfalttakbelegg                                                          | 1,2                           |
|                                                            | 250 mm mineralull<br>og trebjelker med<br>senteravstand<br>0,6 m | Opplettet tak-<br>tekning av tak-<br>stein og undertak<br>av rullprodukt | 1,4                           |
| Tillegg for 200 mm massivtreelement: 0,2 kN/m <sup>2</sup> |                                                                  |                                                                          |                               |
| Tillegg for 240 mm massivtreelement: 0,4 kN/m <sup>2</sup> |                                                                  |                                                                          |                               |



Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)