

Adamski, Adrian  
Grefstad, Andreas Erlie  
Randem, Steffen

## Bacheloroppgave

Valg av takløsning for boligblokken på  
Utstillingsplassen i Ålesund sentrum

Bacheloroppgave i Byggingeniør - Konstruksjon  
Veileder: Torodd Skjerve Nord

Mai 2020





Adamski, Adrian  
Grefstad, Andreas Erlien  
Randem, Steffen

## **Bacheloroppgave**

Valg av takløsning for boligblokken på  
Utstillingsplassen i Ålesund sentrum

Bacheloroppgave i Byggingeniør - Konstruksjon  
Veileder: Torodd Skjerve Nord  
Mai 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk



**NTNU**

Kunnskap for en bedre verden



## FORORD

Denne bacheloroppgaven er skrevet av byggingeniørstudentene Adrian Adamski, Andreas Erlien Grefstad og Steffen Randem ved NTNU Ålesund våren 2020. Oppgaven representerer avslutningen av et treårig studieforløp med spesialisering innen konstruksjon. Oppgaven er utarbeidet i samarbeid med PEAB K. Nordang, som er totalentreprenør ved boligblokkprosjektet på Utstillingsplassen i Ålesund sentrum. Bakgrunnen for oppgaven var PEAB K. Nordang sitt ønske om å vurdere valgt takløsning. PEAB K. Nordang hadde kun mottatt ett tilbud for den aktuelle takkonstruksjonen, og ønsket å se om dette var en optimal løsning for prosjektet.

Oppgaven gir en detaljert og fordypende innføring i tre ulike takløsninger for det aktuelle prosjektet. Pris, byggetid og funksjon knyttet til ulike oppbygninger og materialvalg er sentrale temaer i oppgaven. Fotavtrykket de ulike takløsningene har på miljøet er også vurdert, da bærekraft er høyaktuelt for byggebransjen.

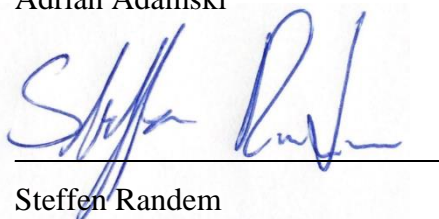
En spesiell takk rettes til

- ❖ Torodd Skjerve Nord, veileder ved NTNU Ålesund
- ❖ Vegard Grønstad, Prosjektleder PEAB K. Nordang
- ❖ Olov Edlund, Prosjektsjef Lättelement AB
- ❖ Gitte Manvik, Prosjektingeniør Lett-Tak Systemer AS
- ❖ Thomas Engell, Stipendiat UiO

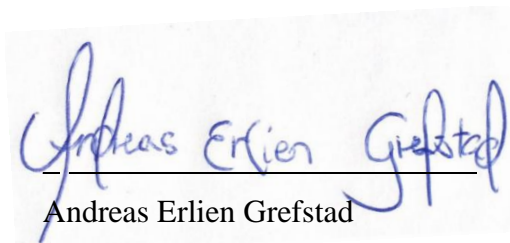
Ålesund 20.05.2020



Adrian Adamski



Steffen Randem



Andreas Erlien Grefstad

## SAMMENDRAG

Oppgaven tar for seg valg av takløsning for boligblokken som bygges på Utstillingsplassen i Ålesund Sentrum. Formålet med oppgaven er å finne den optimale takløsningen gjennom å sammenligne og vurdere seks hovedkriterier; pris, byggetid, funksjon, HMS, CO<sub>2</sub>-avtrykk og fleksibilitet. Alle løsningene som blir vurdert skal oppfylle gjeldende krav i forskrifter, reguleringsplaner og lovverk.

Oppgaven fokuserer på tre ulike takløsninger, hvor to er elementkonstruksjon og ett er plassbygd tak med precut sperrekonstruksjon av I-bjelker. Elementløsningene har to ulike oppbygninger, levert av Lättelement AB og Lett-Tak Systemer AS. Disse løsningene er basert på henholdsvis I-bjelker og stål.

Resultatene og vurderingene er fremstilt ved hjelp av et vektingssystem med bakgrunn i teoretisk grunnlag. Oppbygning og dimensjonering av elementløsningene er gjort av Lättelement AB og Lett-Tak Systemer AS. Det plassbygde taket er estimert ved hjelp av Holte SmartKalk og Norsk Prisbok. Byggma Group har bistått med dimensjonering av precut sperrekonstruksjon.

Resultatene i oppgaven viser at ved å velge en elementløsning fra Lett-Tak Systemer AS, kan PEAB K. Nordang oppnå en kostnadsreduksjon på opptil 40 %. Konklusjonen blir derfor at plassbygd tak var riktig å utelukke, og Lett-Tak Systemer AS er den mest optimale takløsningen for Utstillingsplassen.

## ABSTRACT

This thesis explores the choice of roofing solution for the apartment block being built at Utstillingsplassen in Ålesund City Centre. The purpose of the thesis is to identify the optimal roof solution by comparing and assessing six main criteria; price, construction time, function, HSE, CO<sub>2</sub>-imprint and flexibility. All solutions being considered comply with requirements in regulations, zoning and legislation.

The thesis assesses three different roofing solutions, two of which are elemental construction and one is space-built roof with precut construction with rafters of I-beams. The element solutions are supplied by “Lättelement AB” and Lett-Tak Systemer AS, and have different structures based on I-beams and steel respectively.

The results and assessments are produced using a weighting system based on review of relevant theory. The structure and dimensioning of the element solutions are done by Lättelement AB and Lett-Tak Systemer AS. Space-built roof is estimated using Holte SmartKalk, Norsk Prisbok, and Byggma Group has assisted with the dimensioning of precut construction.

The results of the thesis show that by choosing an element construction from Lett-Tak Systemer AS, PEAB K. Nordang can achieve a cost reduction of up to 40%. The conclusion of the thesis is that space-built roofing solution was not optimal and correctly to exclude. Lett-Tak Systemer AS is the most optimal roofing solution for Utstillingsplassen.

# INNHOLD

<b>FORORD</b> .....	<b>I</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>FIGURLISTE</b> .....	<b>VI</b>
<b>TABELLISTE</b> .....	<b>VII</b>
<b>TERMINOLOGI</b> .....	<b>VIII</b>
BEGREPER.....	VIII
NOTASJON .....	VIII
FORKORTELSER.....	IX
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUNN .....	1
1.2 PROBLEMSTILLING OG FORMÅL .....	1
1.3 AVGRENSNINGER .....	2
1.4 OM PROSJEKTET.....	2
1.4.1 Områdebeskrivelse:.....	4
<b>2 TEORETISK GRUNNLAG</b> .....	<b>5</b>
2.1 REGELVERK .....	5
2.1.1 Lovverk.....	5
2.1.2 Forskrifter .....	5
2.1.3 Standarder.....	6
2.1.4 Reguleringsplan .....	8
2.2 GENERELT OM TAK .....	8
2.2.1 Takformer for skråtak.....	9
2.2.2 Oppbygning og konstruksjonsprinsipper.....	10
2.2.2.1 Uisolerte skråtak med luftet tekking.....	11
2.2.2.2 Isolerte skråtak med luftet tekking.....	11
2.2.2.3 Kompakte tak.....	14
2.2.3 Byggeprosess.....	14
2.3 FUNKSJON .....	17
2.3.1 Taktekking .....	17
2.3.2 Isolasjon .....	21
2.3.3 Bæreevne.....	21
2.3.4 Sikkerhet ved brann.....	22
2.4 BÆRESYSTEM FOR SKRÅTAK.....	26
2.4.1 Laster og lastoverføring.....	26
2.4.2 Bæresystem i trevirke .....	28
2.4.2.1 Tre som materiale .....	28
2.4.2.2 Trekonstruksjoner.....	30
2.4.3 Bæresystem i stål.....	31
2.4.3.1 Stål som materiale .....	31
2.4.3.2 Stålkonstruksjoner .....	33
2.5 HELSE, MILJØ OG SIKKERHET .....	33
2.5.1 Risikofaktorer.....	33
2.6 CO <sub>2</sub> -AVTRYKK.....	34
2.6.1 EPD.....	34
2.7 ANSKAFFELSER.....	35
2.7.1 Tilbud .....	35
2.7.2 Anbud.....	35
2.8 ENTREPRISEFORMER .....	36
2.8.1 Totalentreprise .....	36
2.9 KOSTNADSESTIMERING .....	37



2.9.1	<i>Estimering materialer og arbeid</i> .....	37
<b>3</b>	<b>MATERIALER OG METODE</b> .....	<b>39</b>
3.1	DATAPROGRAM / PROGRAMVARE .....	39
3.2	METODE .....	40
3.2.1	<i>Lättelement</i> .....	40
3.2.2	<i>Lett-Tak</i> .....	40
3.2.3	<i>Plassbygd tak</i> .....	41
3.3	VEKTING .....	43
<b>4</b>	<b>HOVEDDEL</b> .....	<b>45</b>
4.1	LÄTTELEMENT AB .....	46
4.1.1	<i>Materialer</i> .....	46
4.1.2	<i>Tilbud</i> .....	49
4.1.3	<i>Montasje</i> .....	51
4.1.4	<i>Pris</i> .....	53
4.1.5	<i>Helse, miljø og sikkerhet (HMS)</i> .....	53
4.1.6	<i>CO<sub>2</sub>-avtrykk</i> .....	55
4.2	LETT-TAK SYSTEMER AS .....	56
4.2.1	<i>Materialer</i> .....	56
4.2.2	<i>Tilbud</i> .....	59
4.2.3	<i>Montasje</i> .....	61
4.2.4	<i>Pris</i> .....	64
4.2.5	<i>Helse, miljø og sikkerhet (HMS)</i> .....	64
4.2.6	<i>CO<sub>2</sub>-avtrykk</i> .....	66
4.3	PLASSBYGD TAK .....	67
4.3.1	<i>Oppbygning og materialer</i> .....	67
4.3.2	<i>Tilbud</i> .....	70
4.3.1	<i>Montasje/Bygging</i> .....	72
4.3.2	<i>Pris</i> .....	72
4.3.3	<i>Helse, miljø og sikkerhet (HMS)</i> .....	73
4.3.4	<i>CO<sub>2</sub>-avtrykk</i> .....	73
4.4	SAMMENLIGNING AV TAK .....	74
4.4.1	<i>Vurdering av pris</i> .....	75
4.4.2	<i>Vurdering av byggetid</i> .....	76
4.4.3	<i>Vurdering av funksjon</i> .....	77
4.4.4	<i>Vurdering av HMS</i> .....	80
4.4.5	<i>Vurdering av CO<sub>2</sub>-avtrykk</i> .....	81
4.4.6	<i>Vurdering av fleksibilitet</i> .....	83
4.4.7	<i>Samlet total vurdering</i> .....	84
4.4.8	<i>Alternative vurderinger</i> .....	85
4.4.8.1	<i>Vurdering uten funksjon</i> .....	85
4.4.8.2	<i>Vurdering uten pris</i> .....	86
<b>5</b>	<b>DISKUSJON</b> .....	<b>87</b>
5.1	DISKUSJON RESULTAT .....	87
5.1.1	<i>Pris</i> .....	87
5.1.2	<i>Byggetid</i> .....	88
5.1.3	<i>Funksjon</i> .....	89
5.1.4	<i>HMS</i> .....	89
5.1.5	<i>CO<sub>2</sub>-avtrykk</i> .....	90
5.1.6	<i>Fleksibilitet</i> .....	90
5.2	DISKUSJON PEAB .....	91
5.3	DISKUSJON METODE .....	91
5.4	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID .....	91
<b>6</b>	<b>KONKLUSJON</b> .....	<b>93</b>
	<b>REFERANSER</b> .....	<b>94</b>
	<b>VEDLEGG</b> .....	<b>98</b>

## FIGURLISTE

Figur 1 Modell av bygget utarbeidet av Plot Arkitekter AS .....	3
Figur 2 Situasjonsplan med de ulike bygningsfløyene. Tegnet av Plot Arkitekter AS .....	4
Figur 3 Pulttak (SINTEF Byggforsk, 2018a) .....	9
Figur 4 Saltak (SINTEF Byggforsk, 2018a) .....	9
Figur 5 Takopplett (SINTEF Byggforsk, 2018a) .....	10
Figur 6 Eksempel uisolert takløsning (SINTEF Byggforsk, 2018a) .....	11
Figur 7 Eksempel isolert takløsning (SINTEF Byggforsk, 2018a).....	12
Figur 8 Eksempel diffusjonstett undertak (SINTEF Byggforsk, 2009) .....	12
Figur 9 Eksempel diffusjonsåpent undertak (SINTEF Byggforsk, 2009) .....	13
Figur 10 Eksempel kompakt tak (SINTEF Byggforsk, 2018b) .....	14
Figur 11 Takelement (Lättelement.se, 2015).....	15
Figur 12 Precut (Trefokus, u.å.).....	16
Figur 13 Eksempel skifertekking (Edvardsen & Ramstad, 2018).....	18
Figur 14 Eksempel luftet tak med båndtekking (SINTEF Byggforsk, 2018c).....	18
Figur 15 Eksempel luftet tak med takbelegg (SINTEF Byggforsk, 2007).....	19
Figur 16 (A) Undertak uten taktro (B) Undertak med taktro (SINTEF Byggforsk, 2009) .	20
Figur 17 Lastoverføring horisontale krefter (SINTEF Byggforsk, 2011a) .....	27
Figur 18 Horisontal skivevirkning (SINTEF Byggforsk, 2011a) .....	28
Figur 19 Eksempel på takstol (SINTEF Byggforsk, 2018a) .....	30
Figur 20 Taksperre med opplegg i møne (SINTEF Byggforsk, 2004a) .....	31
Figur 21 Eksempel på stålkvaliteter (SSAB, u.å.) .....	32
Figur 22 Estimeringskjede for materialkostnader (Rolstadås et al., 2020, s. 239) .....	37
Figur 23 Estimeringskjede for arbeidskostnader (Rolstadås et al., 2020, s. 238).....	38
Figur 24 Eksempel på elementsnitt (Lättelement.se, 2015) .....	46
Figur 25 Profiltverrsnitt av I-Bjelker (Masonite Beams, 2020).....	47
Figur 26 Skjøteprinsipp på langside av element (Lättelement.se, 2015).....	51
Figur 27 Skjøteprinsipp på kortside av element (Lättelement.se, 2015).....	52
Figur 28 Innfestningsmontasje .....	52
Figur 29 Eksempel på tverrsnitt av Lett-Tak element («Lett-Tak Systemer AS», 2020)..	56
Figur 30 Innfesting mot bæresystem («Lett tak montasjefilm - YouTube», 2013) .....	61
Figur 31 Festing av kryssfinerplater («Lett tak montasjefilm - YouTube», 2013).....	62
Figur 32 Eksempel elementskjøt langside Lett-Tak (SINTEF, 2017) .....	63
Figur 33 Eksempel elementskjøt kortside Lett-Tak (SINTEF, 2017) .....	63
Figur 34 Isolert skråtak med diffusjonstett undertak (SINTEF Byggforsk, 2007) .....	68
Figur 35 Diagram over poeng i vurderingen .....	84
Figur 36 Totalscore .....	93

## TABELLISTE

Tabell 1 Forskrifter som omhandler tak og takkonstruksjon .....	6
Tabell 2 Aktuelle standarder for oppgaven .....	7
Tabell 3 Risikoklasser (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, avsn. § 11-2).....	22
Tabell 4 Brannklasser (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, avsn. § 11-2 Tabell 1).....	23
Tabell 5 Beskrivelse av bokstaver for brannklassifisering av bygningsdeler .....	24
Tabell 6 Klassifisering av materialer .....	25
Tabell 7 Fasthetsklasser på trevirke i Norge .....	29
Tabell 8 Betegnelse ved stålklasser .....	32
Tabell 9 Eksempel på beregning av poeng ved kvantitative kriterier .....	43
Tabell 10 Eksempel på beregning av poeng for kvalitative kriterier .....	44
Tabell 11 Tilbud Lättelement .....	49
Tabell 12 Laster Lättelement er dimensjonert for .....	50
Tabell 13 Prisoversikt Lättelement .....	53
Tabell 14 Miljøpåvirkning CO <sub>2</sub> - TYPE A254 .....	55
Tabell 15 Tilbud Lett-Tak .....	59
Tabell 16 Laster Lett-Tak er dimensjonert for .....	60
Tabell 17 Prisoversikt Lett-Tak .....	64
Tabell 18 Miljøpåvirkning CO <sub>2</sub> – Lett-Tak type 21 med 21x148mm trerekker .....	66
Tabell 19 Plassbygd tak, med diffusjonstett undertak .....	70
Tabell 20 Laster for plassbygd tak .....	71
Tabell 21 Beregnet arbeidstimer plassbygd tak.....	72
Tabell 22 Prisoversikt plassbygd tak.....	72
Tabell 23 Miljøpåvirkning CO <sub>2</sub> - Plassbygd tak .....	73
Tabell 24 Vektpoeng .....	74
Tabell 25 Vurdering pris .....	75
Tabell 26 Vurdering byggetid .....	76
Tabell 27 Vurdering funksjon .....	79
Tabell 28 Vurdering HMS .....	81
Tabell 29 Vurdering CO <sub>2</sub> -avtrykk .....	82
Tabell 30 Vurdering fleksibilitet .....	83
Tabell 31 Samlet totalvurdering.....	84
Tabell 32 Vektingstall alternativ vurdering uten funksjon .....	85
Tabell 33 Resultat alternativ vurdering uten funksjon .....	85
Tabell 34 Vekttall alternativ vurdering uten pris .....	86
Tabell 35 Resultat alternativ vurdering uten pris.....	86

## TERMINOLOGI

### *Begreper*

Begrep	Forklaring
CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> -ekvivalent er en enhet som benyttes for å beskrive effekten en klimagass har på den globale oppvarmingen.
Diffusjon	Spredning av et stoff i et annet <i>Eksempel: diffusjonsåpen – «pustende»</i>
Lekt	Lekt som ligger på tvers av takfall
Opplegg	Bæring/feste
SINTEF	Norsk sertifiseringsorgan
SITAC	Svensk sertifiseringsorgan
Sløyfe	Lekt i tre som ligger parallelt med takfall
U-verdi	Varmegjennomgangskoeffisient (W/m <sup>2</sup> K)
Varmekonduktivitet, lambda (λ)	Varmeledningsevne (W/mK)

### *Notasjon*

Symbol	Forklaring
CO <sub>2</sub> e	CO <sub>2</sub> ekvivalenter
m	Meter
m <sup>2</sup>	Kvadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikkmeter
mm	Millimeter
N	Newton
kN	Kilo Newton

W/mK	Watt/meter*Kelvin
W/m <sup>2</sup> K	Watt/kvadratmeter*Kelvin
L/200	Lengde/200
L/300	Lengde/300

### ***Forkortelser***

<b>Forkortelser</b>	<b>Forklaring</b>
C/C	Senteravstand
DOK	Forskrift om dokumentasjon av byggevarer
EPD	Enviromental product declaration
ETA	European technical assessment
HMS	Helse, miljø og sikkerhet
OSB	Oriented strand board
PBL	Plan- og bygningsloven
PEAB	PEAB K. Nordang
RIB	Rådgivende ingeniør bygg
RIBr	Rådgivende ingeniør brann
RIByFy	Rådgivende ingeniør bygningsfysikk
TEK17	Byggteknisk forskrift, 2017
ubh	Ubehandlet
UP	Utstillingsplassen

# 1 INNLEDNING

Ålesund kommune har nylig fusjonert med flere nabokommuner, og er stadig i vekst. På lik linje vokser også innbyggertallene. På bakgrunn av dette bygges det ut flere boliger.

Den gamle utstillingsplassen er en tomt i Ålesund som tidligere har vært brukt som bensinstasjon, drosjesentral og kiosk. I dag er tomta kjøpt av Fazenda Utvikling AS, som bygger en boligblokk kalt Utstillingsplassen (videre benevnt med UP), med 46 selveierleiligheter. Fazenda Utvikling AS er tiltakshaver og PEAB K. Nordang (videre benevnt med PEAB) har totalentreprise for prosjektet, og er oppdragsgiver for denne oppgaven.

## 1.1 Bakgrunn

I byggeprosjektet for UP ble elementløsning fra Lättelement AB valgt som takløsning. Plassbygd tak var også et alternativ, men løsning med element ble vurdert som bedre egnet til å møte stramme tidsrammer, ettersom de er ansett å ha kortere byggetid. PEAB ønsker nå en redegjørelse for om de gjorde rett valg, eller om de burde brukt mer tid på å vurdere alternative løsninger. En slik redegjørelse kan PEAB ha erfaringsmessig utbytte av ved fremtidige beslutninger.

## 1.2 Problemstilling og formål

Formålet med oppgaven er å vurdere om valgt takløsning er optimal, eller om det er andre løsninger som kunne gitt mer tilfredsstillende resultat. Dette vurderes ved å undersøke forskjellige takløsninger med hensyn til kriteriene pris, byggetid, funksjon, HMS, CO<sub>2</sub>-avtrykk og fleksibilitet.

### **Problemstilling:**

*Hvilken takløsning er den mest optimale for Utstillingsplassen?*

### **1.3 Avgrensninger**

For at oppgaven ikke skal bli for omfattende, har vi valgt å gjøre noen avgrensninger. Dette gir oss muligheten til å gjøre innholdet i oppgaven mer spesifisert og detaljert.

- ❖ Oppgaven inkluderer ikke takopplett, takterrasser og takvindu da dette skal plassbygges, uavhengig av valgt takløsning.
- ❖ Oppgaven fokuserer på oppbygningen på de forskjellige takene ettersom disse vil være ulike. Vi velger å se bort ifra øverste tekking og himling, da dette vil være likt for alle løsninger.
- ❖ Tillatte gesims- og mønehøyder er ikke tatt hensyn til i oppgave, da vi ikke hadde/lite grunnlag for å måle dette

### **1.4 Om prosjektet**

Bygget er tegnet av Plot arkitekter AS, og har en grunnflate på opp mot 750 m<sup>2</sup>. Blokken vil inneholde 46 leiligheter med parkeringskjeller og totalt inntil syv etasjer, se Figur 1 for modell. Alle etasjer er tiltenkt leilighet hvor det er planlagt å utnytte full takhøyde. Bygningen utføres i hovedsak med plastøst betong i vegger og etasjeskillere, men har også innslag av stålsøyler og -dragere. Dette gjør at bygningen er stabil og godt rustet for å ta opp horisontale krefter fra takkonstruksjonen. Taket er komplekst, med forskjellige høyder, former og vinkler. Det har også innslag av takterrasser, takvindu og takopplett. Taket er sammensatt av både saltak og pulttak, med henholdsvis helning på 48° og 18°. Lengste spenn er på 7,5 meter og er beskrevet i Premissdokument (Vedlegg 2).

Bygningen er underlagt et krav om skifertekking på skråtak etter retningslinjene gitt i Ålesund kommunes reguleringsplan («Ålesund kommune - reguleringsplan 1504446», 2000). Grunnet lav helning på deler av taket er det gitt tillatelse til å benytte båndtekking eller lignende. Kravet til energieffektiviteten i tak er satt til 0,15 W/m<sup>2</sup>k og er beskrevet i Energinotat (Vedlegg 1).

Bygningen er klassifisert til risikoklasse 4 og brannklasse 3 (Vedlegg 3), som betyr at bygget må ha et automatisk brannslukkeanlegg (sprinkleranlegg) (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, avsn. §11-12, Del 1 Bokstav A)



*Figur 1 Modell av bygget utarbeidet av Plot Arkitekter AS*

Aktuelle snitt- og plantegninger er beskrevet i Vedlegg 18-21.



### 1.4.1 Områdebeskrivelse:

I reguleringsbestemmelsene i kommunens reguleringsplaner for Ålesund sentrum er den aktuelle bygningen vist i Figur 2, regulert til bolig/forretning/kontor (§1 Generelt, Bokstav A, 1 ledd.) Vi leser videre i fellesbestemmelsene i reguleringsplanen at den maksimale høyden mot gaten ikke skal overstige 12,5 meter til gesims og 18 meter til møne, med mindre unntak er godkjent av kommunen. Det er også bestemt at alle bygninger i sentrum skal utføres med skråtak og skifertekking. Der det er utfordrende eller lite egnet (les: flattere partier, opplett e.l.) skal beslag og annen tekking utføres i farger som er tilpasset skifer (§2 Fellesbestemmelser, Bokstav C, F)(«Ålesund kommune - reguleringsplan 1504446», 2000).



Figur 2 Situasjonsplan med de ulike bygningsfløyene. Tegnet av Plot Arkitekter AS

## 2 TEORETISK GRUNNLAG

I dette kapittelet presenteres juridisk og teoretisk grunnlag for oppgaven. Sentrale temaer vil være regelverk, standarder, oppbygning og funksjoner knyttet til tak.

### 2.1 Regelverk

Norge har regelverk som bestemmer hvordan bebyggelse og arealer skal reguleres, utnyttes og vedlikeholdes. Regelverket har som hensikt å sikre god helse, miljø og sikkerhet. Den mest sentrale loven innenfor regelverket er plan- og bygningsloven (PBL). Hele regelverket er lett tilgjengelig for alle gjennom nettbaserte tjenester som lovdata. (Edvardsen & Ramstad, 2018, s. 29).

#### 2.1.1 Lovverk

##### Plan- og bygningsloven

Alle bygninger i Norge er underlagt PBL. Loven angir bestemmelser som omhandler planlegging, utbygging, saksbehandling og håndheving av regler. Byggteknisk forskrift (TEK17) har hjemmel i PBL (Lovdata, 2008).

#### 2.1.2 Forskrifter

##### Byggteknisk forskrift (TEK17)

Formålet med TEK17 finner vi i §1-1 i forskriften; «*Forskriften skal sikre at tiltak planlegges, prosjekteres og utføres ut fra hensyn til god visuell kvalitet, universell utforming og slik at tiltaket oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energi*» (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). TEK17 angir konkrete tekniske krav for bygg, og hvert ledd har en veiledning som beskriver kravene i forskriften og kan inneholde preaksepterte ytelser. Forskrifter omhandlende tak er beskrevet i Tabell 1.

Tabell 1 Forskrifter som omhandler tak og takkonstruksjon

Forskrift	Beskrivelse
Kapittel 1 Felles bestemmelser §1-3 Definisjoner	Definisjon, leserveiledning for forskriften
Kapittel 6 beregnings og måleregler §6-2 Høyde	Gesims- og mønehøyde.
Kapittel 10 Konstruksjonssikkerhet	Personell og materiell sikkerhet
Kapittel 11 Sikkerhet ved brann §11-1 Sikkerhet ved brann §11-2 Risikoklasser §11-3 Brannklasser §11-4 Bæreevne og Stabilitet (REI) §11-9 Materialer og produkters egenskaper ved brann	Sikkerhet ved brann, brannklassifiseringer (REI), materialers brannegenskaper,
Kapittel 13 inneklima og helse §13-12 Nedbør §13-13 Fukt fra inneluft §13-14 Byggfukt	Sikkerhet mot fukt fra nedbør, inneklima og byggfukt
Kapittel 14 Energi §14-1 Generelle krav §14-2 Krav til energieffektivitet	Minstekrav energieffektivitet (U-verdier)

### 2.1.3 Standarder

Norsk standard er et verktøy som benyttes for å verifisere og oppnå de kravene TEK17 stiller. Standardene i Tabell 2 omhandler de aktuelle standardene for oppgaven. Det er ikke et lovfestet krav å benytte seg av en standard for å oppfylle kravene i TEK17, og heller ingen garanti for at ytelsene eller metodene som er beskrevet vil gi tilfredsstillende resultat.

Standarder deles inn i følgende grupperinger:

- ❖ Generelle anvendelse (standarder for strukturering, kvalitetsstyring og miljøstyring)
- ❖ Prosjektering (beskrivelsestekster for bygg anlegg og installasjoner)
- ❖ Produktstandarder
- ❖ Kontrahering (standarder for kontrakter, anbud)

- ❖ Utførelse og overtakelse
- ❖ Fasilitetsstyring, drift og vedlikehold

(Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 31)

Tabell 2 Aktuelle standarder for oppgaven

Standard nr.	Beskrivelse
NS 3470-1	Prosjektering av trekonstruksjoner – Beregnings- og konstruksjonsregler – Del 1: Allmenne regler
NS 3490	Prosjektering av konstruksjoner – Krav til pålitelighet
NS 3491-3	Prosjektering av konstruksjoner – Dimensjonerende laster – Del 3: Snølaster
NS 3491-4	Prosjektering av konstruksjoner – Dimensjonerende laster – Del 4: Vindlaster
NS-EN 336	Konstruksjonstrevirke – Bartre og poppel – Størrelser, tillatte avvik
NS-EN 338	Konstruksjonstrevirke – Styrkeklasser
NS-EN 519	Konstruksjonstrevirke – Sortering – Krav til maskinelt styrkesortert trevirke og sorteringsmaskiner
NS-INSTA 142	Nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast
NS-EN-13501-5	Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 5: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av tak utsatt for utvendig branneksponeering
NS-EN ISO-6946	Bygningskomponenter og -elementer - Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisient - Beregningsmetoder
NS-EN 10025-1	Varmvalsede produkter av konstruksjonsstål
NS-EN 13501-5	Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler- Del 5: klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av tak utsatt for utvendig branneksponeering.
NS-EN 10027	Kontinuerlig varmmetalliserte flate stålprodukter for kaldforming, Tekniske leveringsbetingelser

### **2.1.4 Reguleringsplan**

I alle nye byggeprosjekter ligger det en reguleringsplan fra kommunen til grunn. Planen beskriver formålet med eiendommen, for eksempel som bolig, friområde, eller vei. Planen består også av et kart med reguleringsbestemmelser som spesifiserer byggingens rammebetingelser, som for eksempel hva du kan bygge på eiendommen, og hvor stort og høyt du kan bygge. Det er to typer reguleringsplaner. Den ene er områderegulering som fastsettes av kommune og denne styrer utviklingen i større områder. Den andre er detaljregulering som kan lages av kommunen, utbyggere eller privatpersoner. Detaljregulering tar for seg mindre områder eller tomter, og gir mer spesifikke føringer for hva som kan bygges. Detaljregulering må allikevel forholde seg til overordnede føringer i områdereguleringen (Miljøverndepartementet, 2011).

## **2.2 Generelt om tak**

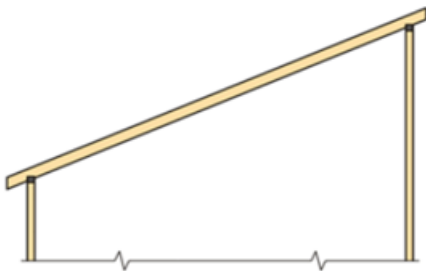
De øverste konstruksjonsdelene av et byggverk kalles tak. Takets viktigste oppgave er å beskytte konstruksjonen mot bygningsfysiske påkjenninger. Klimatiske forhold som vind, nedbør, solstråling, varme og kulde utgjør store deler av disse påkjenningene. Takets egenskaper til å motstå påkjenningene er avhengig av bygningstekniske funksjoner og formål. Takets form og utseende har stor betydning for byggets arkitektoniske uttrykk. Takform, funksjonskrav, planløsning og innvendig takhøyde har stor betydning for valg av bærende konstruksjon i tak (SINTEF Byggforsk, 2018a).

### 2.2.1 Takformer for skråtak

Det finnes mange forskjellige takformer. De følgende takformene ble vurdert som aktuelle for dette prosjektet.

#### Pulttak

Pulttak har navnet sitt fra likheten med skråplanet på en skrivepult, illustrert i Figur 3. Et pulttak består av ett skråplan, vanligvis med liten takvinkel. Pulttak er en enkel konstruksjonstype som ofte brukes på sidebygninger og bygninger med smal planløsning. Konstruksjonen består ofte av sperrer eller takstoler (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 251–253).



Figur 3 Pulttak (SINTEF Byggforsk, 2018a)

#### Saltak

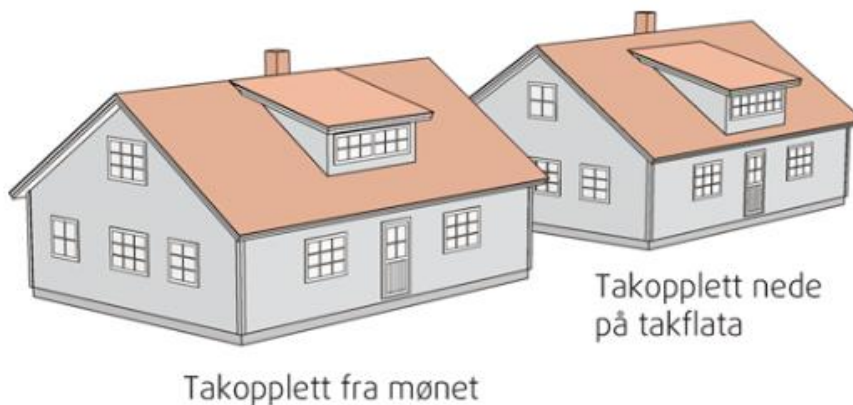
Saltak er en av de vanligste formene for trectak i Norge, og har en helning på minst  $18^\circ$ . Saltak består av to sider med fall i forskjellig retning. Sidene kan være symmetriske eller asymmetriske med forskjellig vinkel og form på hver side. Figur 4 viser saltak med symmetriske sider. Den relativt bratte helningen gjør at taket oppnår god avrenning, og alle tekkemetoder kan benyttes (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 251).



Figur 4 Saltak (SINTEF Byggforsk, 2018a)

### **Takopplett**

Takopplett er et takoppbygg hvor deler av taket er løftet opp, se Figur 5. Det er en effektiv måte å oppnå mer utnyttbart loftsareal ved at takhøyden heves. Sammenlignet med ordinert takvindu i takplanet, er det fordel å ha et takopplett med vindu på vegg. Dette fordi man unngår snøsmelting og oppsamling av vann, som kan forårsake lekkasje i tilknytning til takvinduet. Taket rundt takopplettet må forsterkes, da det må bære selve takopplettet (SINTEF Byggforsk, 2010).



*Figur 5 Takopplett (SINTEF Byggforsk, 2018a)*

### **2.2.2 Oppbygning og konstruksjonsprinsipper**

Valg av oppbygning avhenger av en rekke faktorer, blant annet ønsket funksjon, byggemetode og takform.

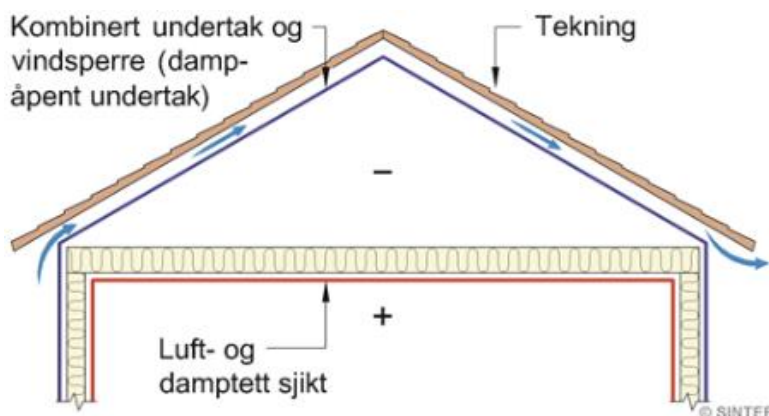
«Lufting» er et begrep som er mye brukt i sammenheng med tak, og er en metode for å fjerne fukt fra konstruksjonen. Luftingen skjer ved hjelp av en luftespalte i taket (Figur 6), som ved hjelp av gjennomtrekk tar med seg fukt ut fra konstruksjonen.

Vi skiller mellom tre typer oppbygning av takkonstruksjoner:

- ❖ Uisolerte skråtak med luftet tekking
- ❖ Isolerte skråtak med luftet tekking
  - Diffusjonstett undertak
  - Diffusjonsåpent undertak
- ❖ Kompakte tak

### 2.2.2.1 Uisolerte skråtak med luftet tekking

Tak uten varmeisolasjon i takflate har kalde loftsrom, se Figur 6. Dette krever at etasjeskilleren er isolert og har både diffusjonssperre og vindsperre. Det er to forskjellige måter å lufte det kalde loftsrommet. Enten ved å benytte diffusjonsåpent undertak, eller ved bruk av ventiler i gavlene og lufting i raften, dette åpner muligheten for bruk av diffusjonstett undertak (*SINTEF Byggforsk, 2018a*).

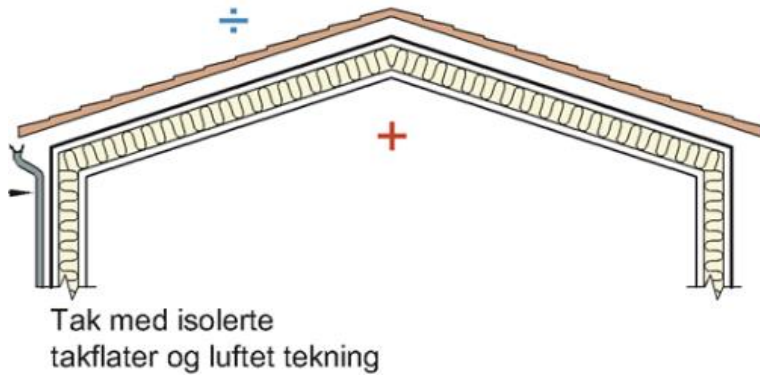


Figur 6 Eksempel uisolert takløsning (*SINTEF Byggforsk, 2018a*)

### 2.2.2.2 Isolerte skråtak med luftet tekking

Tak med varmeisolasjon i takflaten, som illustrert i Figur 7, har varme loftsrom, og benyttes hvis man ønsker å utnytte full innvendig takhøyde. Denne konstruksjonstypen har bedre sikkerhet mot brann enn tak med kalde loftsrom, da isolasjonen i takflaten er med på å redusere hastigheten på brannspredningen. Løsningen har enten diffusjonsåpent eller diffusjonstett undertak. Ved luftet tekking er det en luftespalte mellom øverste tekking og undertak. Denne skal sørge for at eventuell fukt eller lekkasje fra øverste tekking fjernes. I tillegg sørge for at taket holder seg kaldt slik at snø ikke smelter, og uønskede vannansamlinger og isdannelse oppstår (*Edvardsen & Ramstad, 2018, s. 264–267*).

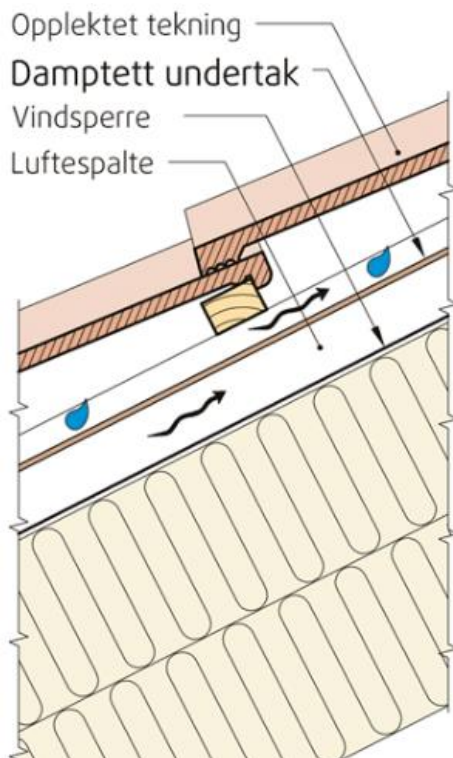




Figur 7 Eksempel isolert takløsning (SINTEF Byggforsk, 2018a)

### Isolerte skråtak med diffusjonstett undertak

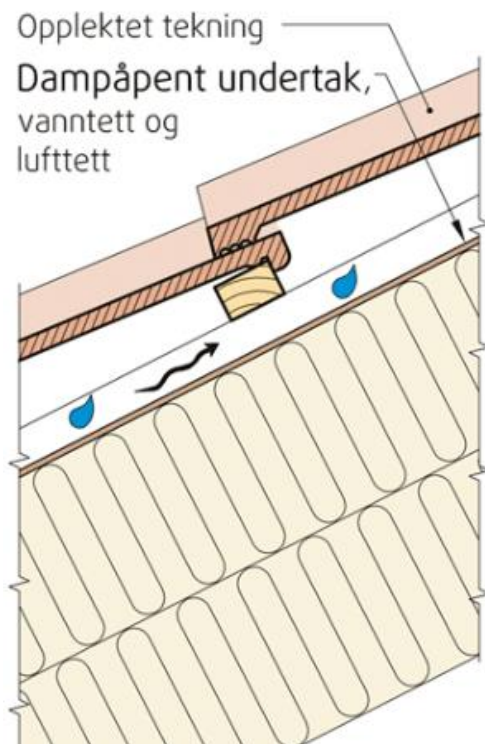
Det tradisjonelle konstruksjonsprinsippet for isolerte skråtak baserer seg på et diffusjonstett (damptett) undertak, som vist i Figur 8. Dette gjør at det er nødvendig med en luftespalte under undertaket for å fjerne eventuell fukt fra den indre konstruksjonen. For at isolasjonen skal kunne opprettholde sin funksjon er det nødvendig med vindsperre (se Kapittel 2.3.1). Denne byggemetoden må alltid anvendes når det er diffusjonstett undertaksbelegg. Metoden er godt egnet for pult- og saltaksformer hvor lengden fra raft til møne ikke overstiger 15m. Takvinkelen bør minimum være 10-15° (SINTEF Byggforsk, 2007).



Figur 8 Eksempel diffusjonstett undertak (SINTEF Byggforsk, 2009)

Isolerte skråtak med diffusjonsåpent undertak

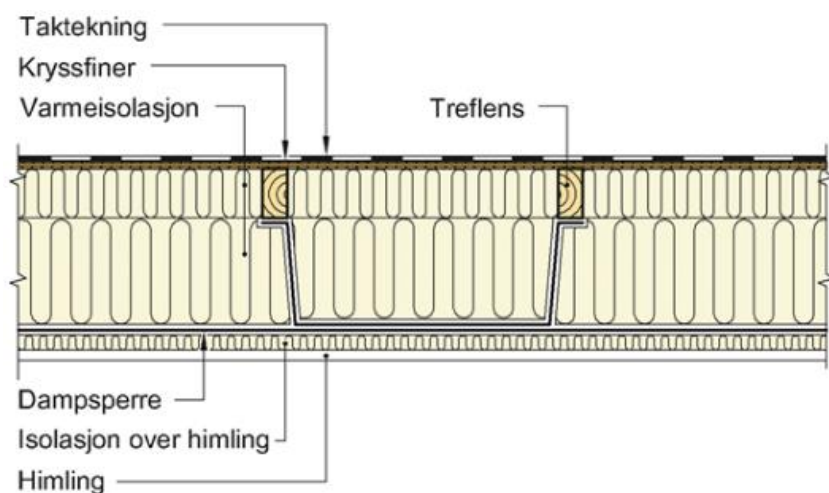
Til forskjell fra et diffusjonstett undertak er det ikke luftespalte under undertaket, se Figur 9. Det er derfor viktig at undertaket er diffusjonsåpent (dampåpent) og vindtett, slik at isolasjonen kan ligge helt oppunder. Eventuell fukt fra den indre konstruksjonen kan dermed luftes ut gjennom det diffusjonsåpne undertaket (SINTEF Byggforsk, 2012).



Figur 9 Eksempel diffusjonsåpent undertak (SINTEF Byggforsk, 2009)

### 2.2.2.3 Kompakte tak

Kompakte tak har en løsning uten lufting mellom tettesjiktene (les: dampsperre og diffusjonstett undertak), illustrert i Figur 10. Dette kan by på utfordringer hvis konstruksjonen inneholder organiske materialer. Ved en eventuell lekkasje, eller fukt som oppstår naturlig ved temperaturendringer i materialet, så kan ikke fukten luftes ut og komplikasjoner med råte kan oppstå. Dette gjør at kompakte tak ikke bør benyttes ved plassbygde tak fordi fukt i konstruksjonen er uunngåelig under bygging (SINTEF Byggforsk, 2018b).



Figur 10 Eksempel kompakt tak (SINTEF Byggforsk, 2018b)

### 2.2.3 Byggeprosess

#### Prefabrikasjon

I byggebransjen betegnes prefabrikasjon som bygningsdeler fremstilt på fabrikk. Man skiller mellom to typer prefabrikasjon: (1) Element, som komplette bygningsdeler og (2) Precut, som bæresystem i tre, kuttet og forhåndstilpasset. Prefabrikasjon gir mulighet for produksjon under tørre omgivelser. Tilpassing kan skje ved hjelp av maskiner med millimeterpresisjon, dette betyr bedre kvalitet og færre byggefeil. Det er en tid- og kostnadskrevende prosess å gjøre endringer etter at produksjonen er påbegynt. Detaljplanlegging er derfor viktig ettersom man er avhengig av å vite nøyaktige og presise dimensjoner før prefabrikasjon. Dette krever god kommunikasjon mellom leverandør og tiltakshaver. For rask og problemfri montering bør de ulike delene merkes, og leveransen inneholde en ryddig plassering- og monteringsanvisning. Byggeprosjekt med lang transportvei kan gi store kostnader. I slike tilfeller burde en god logistikkplan utarbeides for å begrense kostnad, miljøutslipp og transportskader (Thue, 2019).

### **(1) Prefabrikkerte takelement**

Takelement kan prefabrikeres etter kundens ønske, der størrelse kun begrenses av transport. Elementene kan fabrikeres komplett med alt fra himling til takteking, eller bare bestående av bæresystem. Produksjonen skjer på fabrikk i tørre omgivelser. Dette åpner muligheten for å benytte organisk materiale i kompakt tak.

Elementene løftes på plass ved hjelp av kran som vist i Figur 11, og festes av montører. Dette forutsetter at det er oppholdsvær og lite vind. Dersom nedbør forekommer under montering, kan fukt trekke inn ubeskyttede deler av elementene. Sterk vind kan utgjøre både risiko for montører og skade på elementene eller omkringliggende konstruksjoner. Effektiv montering gjør det mulig å oppnå en lukket konstruksjon i løpet av kort tid. Dette gir god sikring mot fukt og raskere mulighet til å ferdigstille underliggende konstruksjoner (Thue, 2019).

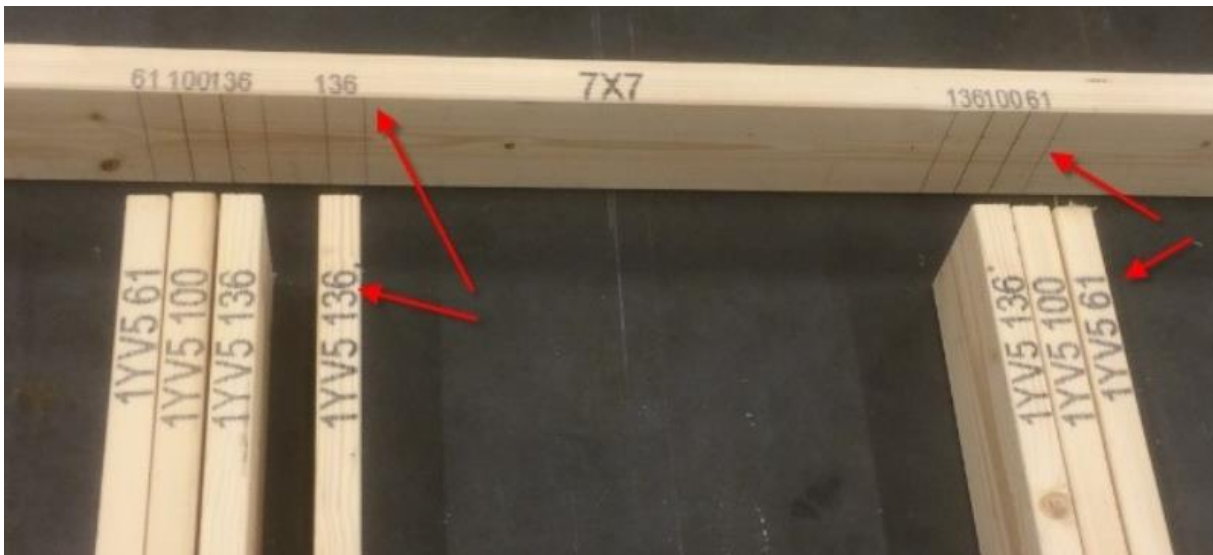


*Figur 11 Takelement (Lättelement.se, 2015)*

## (2) Precut

Precut betyr «ferdig tilpasset» og er en form for prefabrikking av trebaserte materialer. Alle nødvendige beregninger og kapp blir utført på fabrikk, og leveres godt merket med plasseringsanvisning (Figur 12). Precut benyttes for bindingsverk, sperrer, bjelkelag, dragere og søyler.

Precut blir stadig mer vanlig, sammenlignet med tradisjonell plassbygging. På grunn av presise utfresinger og kapp går det betydelig raskere å sette opp reisverket til et bygg. Konstruksjonens stabilitet og bæreevne kvalitetssikres gjennom kvalifisert personell. Da tilbyderen har ansvaret for beregning og dimensjonering (Optimera, 2018).



Figur 12 Precut (Trefokus, u.å.)

## Tradisjonelt plassbygd tak

Ved tradisjonell plassbygd tak blir tilpasninger og bearbeiding av materialene utført på byggeplass. Metoden gir stor fleksibilitet for valg av materialer og tilpasninger underveis i byggeperioden. Det er ofte liten grad av forhåndsprosjektering, og derfor stilles det store krav til fagkunnskap av montør/tømrer (Edvardsen & Ramstad, 2018, s. 23).

## **2.3 Funksjon**

Et tak er avhengig av spesifikke egenskaper for å kunne fungere optimalt. I dette kapittelet blir relevante funksjoner beskrevet.

### **2.3.1 Taktekking**

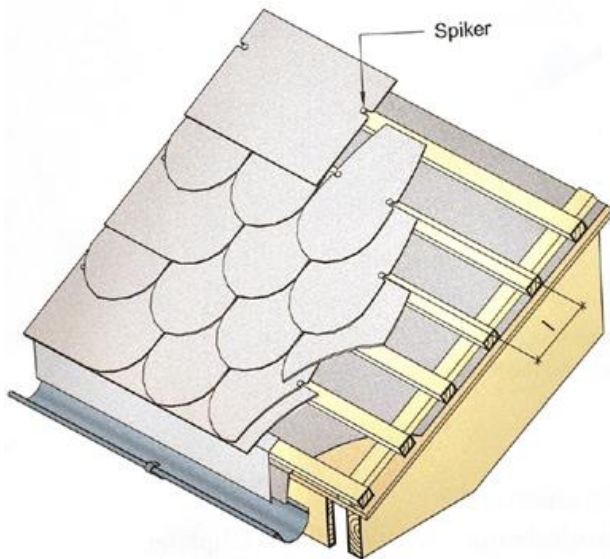
En av takets viktigste funksjoner er å holde underliggende konstruksjoner tørre. Dette gjøres ved å beskytte og drenere bort vann. Norge stiller krav til at øverste taktekking tilfredsstiller brannklassifisering B<sub>ROOF(t2)</sub> (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, avsn. §11-9, Del2 Bokstav F). Grunnlaget for klassifiseringen er beskrevet i NS-EN 13501-5.

De vanligste metodene for taktekking er opplektet tekking, takbelegg eller båndtekking. Disse tekketyperne har forskjellig oppbygging og egenskaper.

Opplektet tekking består av sløyfer og lekter som gjør at man oppnår lufting på undersiden av tekkingen. Dette for å fjerne fukt og hindre gode vekstforhold for råte. Selve tekkingen er ikke nødvendigvis vanntett, men har som hensikt å stoppe mesteparten av nedbøren. Derfor er man avhengig av å ha et undertaksbelegg som har dokumentert tetthet og som tåler langvarig fuktpåvirkning (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 275).

#### **Skifer- og natursteintekking**

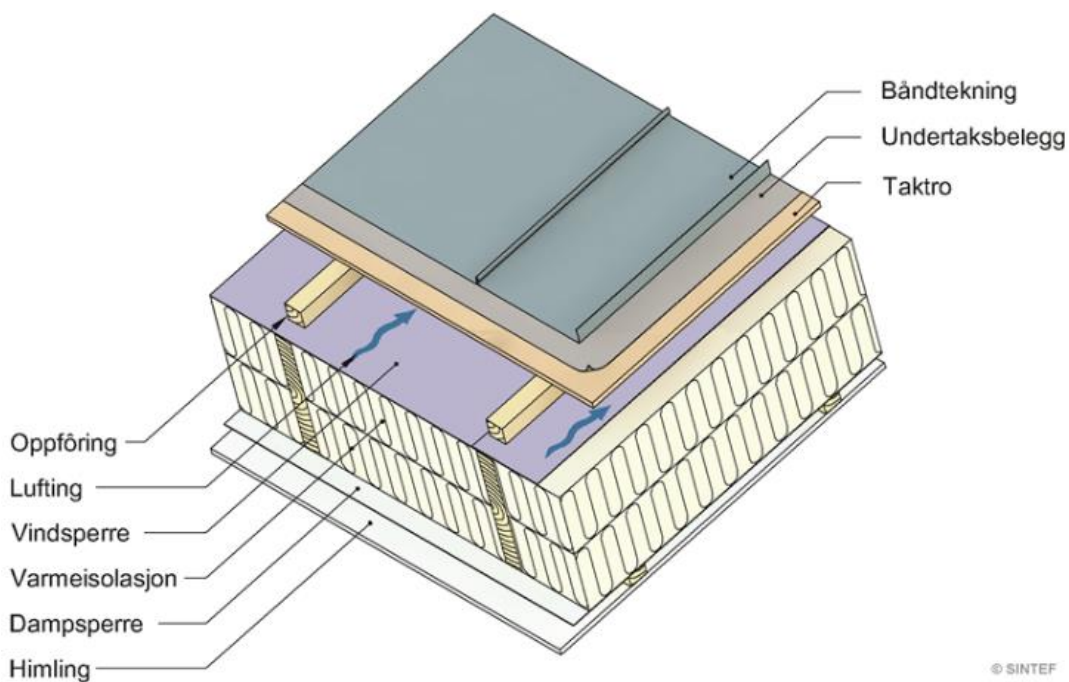
Takskifer er et 100% naturlig tekkemateriale som legges på sløyfer og lekter, ofte med mindre avstand enn vanlig takstein, se Figur 13 (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 283–284). Steinen er svært holdbar og krever lite vedlikehold. Steinen legges med omlegg for hindre nedbør i å trenge inn i konstruksjonen. Skjøtene er likevel ikke tette. Det er derfor viktig med et robust undertaksbelegg. Belegget legges på en bærende taktro, og takvinkel bør være minst 22° (SINTEF Byggforsk, 2014).



Figur 13 Eksempel skifertekking (Edvardsen & Ramstad, 2018)

### **Båndtekking**

Båndtekking består av falsede metallplater som holdes på plass av metalklemmer i takets lengderetning, se Figur 14. Takvinkelen bør være på minst  $10^\circ$ . Tekkingen er diffusjonstett og må derfor benyttes på luftede takkonstruksjoner med bærende undertak, dersom taket er isolert. Kobber, sink og aluminium er de vanligste materialene for platene, og kan leveres i forskjellige farger (SINTEF Byggforsk, 2018c).



Figur 14 Eksempel luftet tak med båndtekking (SINTEF Byggforsk, 2018c)

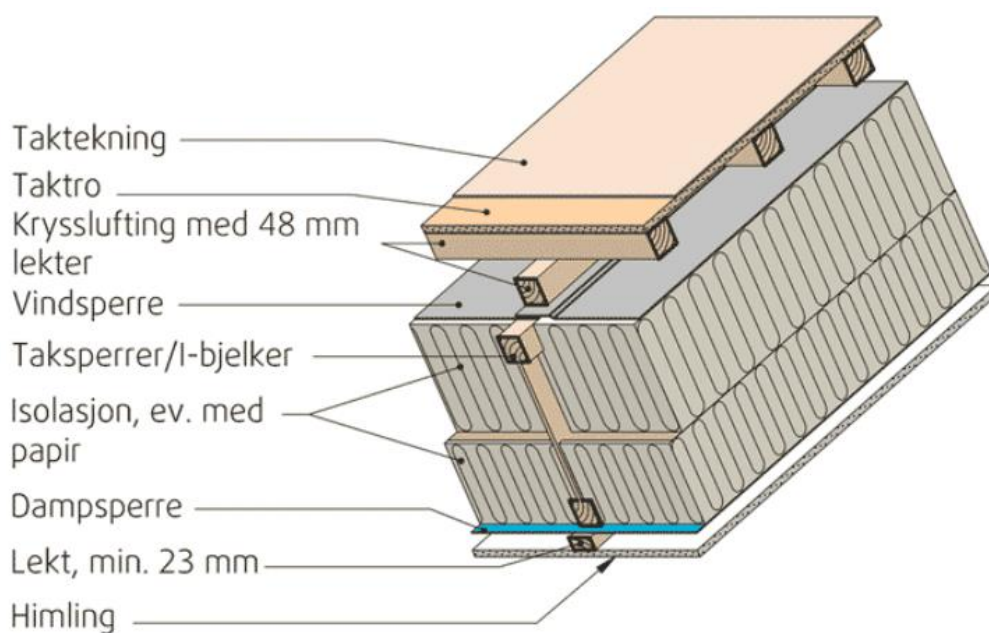
## Takbelegg

Takbelegg er en form for diffusjonstett tekking som monteres rett på taktro, se Figur 15. For å oppnå tilstrekkelig evne til å fjerne fukt bør det etableres luftesjikt i underkant av taktro.

Takbelegg kan monteres på skrå og flate tak, og har best sikkerhet mot lekkasjer av samtlige tekkingstyper (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 280–281). Belegget sveises sammen i skjøter ved hjelp av åpen flamme eller varmluft.

## Undertaksbelegg

Undertaksbelegg er en enklere form for takbelegg, som er ment for å ligge i underkant av annen tekking for å oppnå god sikring mot fukt. Kvaliteten på undertaksbelegget har ofte stor betydning for takets levetid. Sammenlignet med takbelegg har undertaksbelegg ofte lavere toleranse for sollys (kortere eksponeringstid). Derfor er man avhengig av å montere øverste tekking innen kort tid. Undertaksbelegget har vanligvis en stamme av mineral (glass) eller polyester, som fungerer som armering for belegget. Mineralstammer har gode brannegenskaper, men begrenset rive og slitestyrke. Polyesterstammer er derimot veldig slitesterk, men har begrensede brannegenskaper hvis ikke egnede fyllstoff blir tilsatt for å hindre dette (SINTEF Byggforsk, 2011b). Undertaksbelegg bør være av asfalt med polyesterstamme, da dette gir et robust belegg med best beskyttelse mot vanninntrenging (SINTEF Byggforsk, 2006).

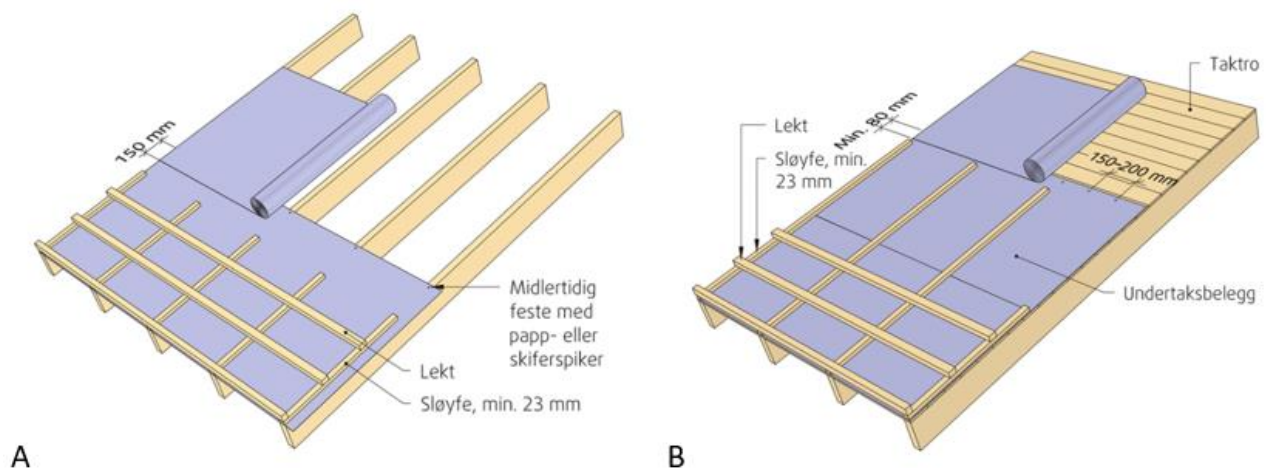


Figur 15 Eksempel luftet tak med takbelegg (SINTEF Byggforsk, 2007)



## Undertak

Undertaket er en fellesbetegnelse for sjiktet som ligger under øverste tekking. Funksjonen til undertaket er å beskytte underliggende konstruksjoner ved å lede bort vann, som kan trenge gjennom skjøter og sprekker i øverste tekking. Det to løsninger ved valg av tettesjikt i undertak, henholdsvis diffusjonstett og diffusjonsåpent (se pkt. 2.2.2). Disse legges rett på sperrene (Figur 16A) eller en bærende en taktro (Figur 16B), og vil sammen utgjøre undertaket. Valg av undertak er avhengig i takets oppbygning (SINTEF Byggforsk, 2009).



Figur 16 (A) Undertak uten taktro (B) Undertak med taktro (SINTEF Byggforsk, 2009)

### Bærende taktro for diffusjonstett undertak

Taktro for diffusjonstett undertak består vanligvis av trebaserte plater som OSB, kryssfiner og sponplater, eller rupanel (takbord). Denne løsningen egner seg både til uisolerte og isolerte skråtak som beskrevet i Kapittel 2.2.2.

### Bærende taktro for diffusjonsåpent undertak

Taktro for diffusjonsåpent undertak består vanligvis av undertak med rupanel eller andre materialer med lav vanddampmotstand, da luftingen foregår gjennom undertaket. Denne løsningen egner seg godt til både isolerte og uisolerte skråtak beskrevet i Kapittel 2.2.2.

### **Vindsperre**

Vindsperren betegnes som et tett, dampåpent sjikt. Hovedfunksjonen er å opprettholde takets isolerende effekt ved å hindre luftlekkasjer og holde konstruksjonen tett (Edvardsen & Ramstad, 2018, s. 270). Ved bruk av diffusjonstett undertak er man avhengig av separat vindsperresjikt som illustrert i Figur 8.

### **2.3.2 Isolasjon**

Takets isolerende del beskytter konstruksjonen for omgivelsene rundt. Isolasjonen har gode egenskaper mot energitap, brann og lyd. Det finnes ulike typer isolasjonsmaterialer, med ulike bruksområder. Den mest brukte er mineralull, laget av stein eller glass. Materialet er ikke brennbart og reduserer derfor hastigheten på brannspredning (Edvardsen & Ramstad, 2018, s. 271).

Norge stiller strenge krav til energieffektivitet gjennom TEK17. Varmeisoleringsevnen til en bygningsdel beskrives ved materialets U-verdi. Isoleringseffekten er avhengig av materialets varmekonduktivitet og tykkelse. Det er to metoder for å beregne kravet til U-verdi for en bygningsdel. TEK17 beskriver preaksepterte ytelser for vegg, tak og gulv. I tillegg kan U-verdier regnes ut ifra netto energibehov for hele bygget. TEK17 beskriver også her hvilke ytelser som er aksepterte for ulike typer bygg (Edvardsen & Ramstad, 2018, s. 392–397).

### **Dampsperre**

Dampsperran sin hovedfunksjon er å hindre at det oppstår trekk og varmetap på grunn av lekkasjer. Den skal hindre at varm luft diffunderer utover i konstruksjonene slik at det oppstår kondens, som gir grunnlag for fukt og råte (SINTEF Byggforsk, 2003).

### **2.3.3 Bæreevne**

Takkonstruksjoner skal prosjekteres og utføres slik at de har tilstrekkelig sikkerhet med hensyn til stabilitet og bæreevne. Bæresystemets funksjon er å overføre laster fra konstruksjon og omgivelser ned i bygningskroppen og videre til fundament. Disse lastene inkluderer egenlast fra selve taket og variable laster i form av bygningsfysiske påkjenninger som snø og vind (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, Kapittel 10).

Ulike bæresystem kan ha forskjellige egenskaper og bæreevne. Kostnad er ofte en utgjørende faktor ved valg av bæresystem, men det skal ikke gå på bekostning av stabilitet, kvalitet og bæreevne.

### 2.3.4 Sikkerhet ved brann

Byggverk skal ha tilstrekkelig bæreevne og stabilitet ved brann. Dette skal redusere risikoen for at byggverket raser sammen ved brann og utgjør en fare for personer i eller rundt byggverket. Alle konstruksjoner er klassifisert ved hjelp av risiko- og brannklasser. Disse klassifiseringene skal ligge til grunn for prosjekteringen og utførelsen av et byggverk for å sikre sikker rømning og bæreevne ved brann (Kirkhus, 2017, s. 66–67).

#### Risikoklasser

Risikoklassen kategoriserer byggverk etter risikoen for at mennesker eller dyr kan komme til skade ved brann. Den beregnes ut ifra muligheten for å komme seg i sikkerhet ved brann. Som vist i Tabell 3 strekker risikoklassene seg fra 1 til 6, hvor klasse 6 er den klassen med høyest risiko. Boligblokk, som i byggeprosjektet for UP, er i klasse 4 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, Kapittel Risikoklasser).

*Tabell 3 Risikoklasser (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, avsn. § 11-2)*

Risikoklasser	Byggverk kun beregnet for sporadisk personopphold	Personer i byggverk kjenner rømningsforhold, herunder rømningsveier, og kan bringe seg selv i sikkerhet	Byggverk beregnet for overnatting	Forutsatt bruk av byggverk medfører liten brannfare
1	ja	ja	nei	ja
2	ja/nei	ja	nei	nei
3	nei	ja	nei	ja
4	nei	ja	ja	ja
5	nei	nei	nei	ja
6	nei	nei	ja	ja

### Brannklasser

Brannklassen bestemmes ut ifra risikoklassen og antall etasjer, og sier noe om konsekvensene en brann kan ha for liv, helse, miljø og andre samfunnsmessige interesser. Byggeprosjektet for UP faller inn under klasse 3. Som vist i Tabell 4 deles brannklassene inn i fire forskjellige klasser, hvor klasse 4 benyttes der det er svært store konsekvenser ved brann (Kirkhus, 2017, s. 66).

Tabell 4 Brannklasser (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, avsn. § 11-2 Tabell 1)

Risikoklasse	Etasjetall			
	1	2	3 og 4	5 eller flere
1	-	BKL 1	BKL 2	BKL 2
2	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
3	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
4	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
5	BKL 1	BKL 2	BKL 3	BKL 3
6	BKL 1	BKL 2	BKL 2	BKL 3

### **Klassifisering av bygningsdelers brannmotstand**

Alle bygningsdeler kan klassifiseres etter evnen til å opprettholde brannmotstand. Dette gjøres ved hjelp av en tall- og bokstavkombinasjon (Tabell 5), som beskriver motstandsevne gitt i minutter og hvilke egenskaper som kreves under et brannforløp (Kirkhus, 2017, s. 70).

*Tabell 5 Beskrivelse av bokstaver for brannklassifisering av bygningsdeler*

<b>Betegnelse</b>	<b>Forklaring</b>
<b>R</b>	<u>Bæreevne:</u> Opprettholde bæreevne og stabilitet ved brannpåkjenning på en eller flere sider av materialet under det angitte brannforløpet.
<b>E</b>	<u>Integritet (tetthet):</u> Evnen til å hindre brannspredning fra en side til den andre. Opprettholde tetthet slik at flammer og gasser ikke trenger gjennom.
<b>I</b>	<u>Isolasjon:</u> Evnen til å isolere varme, slik at baksiden av bygningsdelen og andre materialer rundt ikke antennes.

Eksempelvis skal bygningsdel klassifisert med REI 60 opprettholde bæreevne, integritet og isolerende evne i 60 minutter (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, Kapittel 11).

## Brannegenskaper for byggprodukter

Det stilles også krav til branntekniske egenskaper ved de ulike materialene. Dette gjøres ved å klassifisere brennbarheten ved materialet. Tabell 6 viser de forskjellige klassene. Man kan også benytte tilleggsklassifiseringer for røykutvikling, og brennende dråper.

*Tabell 6 Klassifisering av materialer*

Klassifisering	Beskrivelse
<b>Brennbarhet</b>	
<b>A1</b>	Ikke brennbart materiale
<b>A2</b>	Begrenset brennbarhet
<b>B</b>	Brennbart minst 20min før overtenning
<b>C</b>	Brennbart minst 12min før overtenning
<b>D</b>	Brennbart minst 10min før overtenning
<b>E</b>	Brennbart minst 2min før overtenning
<b>F</b>	Uklassifisert produkter
<b>Røykutvikling</b>	
<b>s1</b>	Lite Røykutvikling
<b>s2</b>	Middels Røykutvikling
<b>s3</b>	Høy Røykutvikling
<b>Brennende dråper</b>	
<b>d0</b>	Ingen brennende dråper
<b>d1</b>	Lite brennende dråper
<b>d2</b>	Mest dråper

Eksempel: trevirke, limtre og trebaserte plater har en klassifisering D-s2, d0, som betyr brennbart i minst 10 min før overtenning, med middels røykutvikling og ingen brennende dråper.

## **2.4 Bæresystem for skråtak**

Trevirke og stål er de vanligste byggematerialene benyttet i bæresystem for skråtak. Valg av materiale baserer seg på en avveining mellom faktorer som kostnad, egenskaper, krav og materialenes påvirkning på miljøet.

### **2.4.1 Laster og lastoverføring**

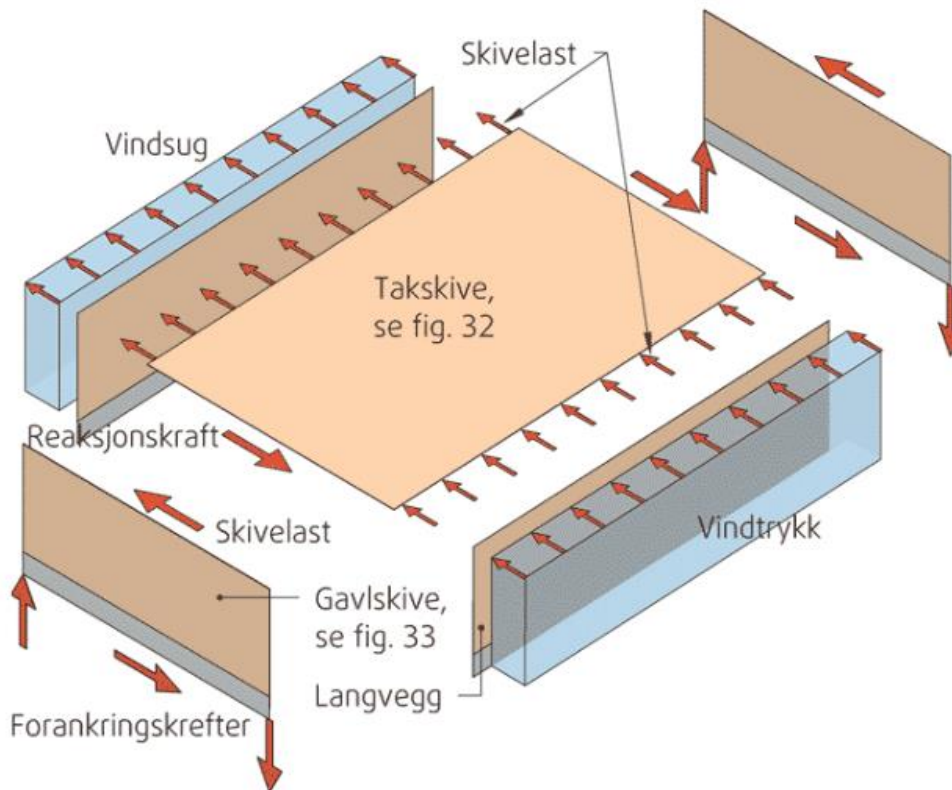
Det er vanlig å dele opp laster i horisontale- og vertikale laster. For å oppnå et stabilt byggverk må de opptredende lastene overføres til fundamentet gjennom konstruksjonens bæresystem. Et bæresystem kan bestå av forskjellige materialer og bestemmes ofte ut ifra funksjonskrav, økonomi og estetiske hensyn.

#### **Vertikale laster**

Snølast, nyttelast og egenlast defineres som vertikale laster. Disse lastene virker vertikalt på konstruksjonen og har en komprimerende effekt på bæresystemet. Høy lastpåvirkning kan gi store nedbøyninger i konstruksjonen. Nedbøyning regnes i bruksgrensetilstand, og maksimal nedbøyning bør ikke overskride  $L/200$ . For at konstruksjonen skal kunne tåle de vertikale lastene må bæresystemet dimensjoneres i bruddgrensetilstand (Per Kr. Larsen, 2004, s. 99–105).

#### **Horisontale laster**

Vind og seismiske påkjenninger regnes som horisontale laster. Et byggverk er avhengig av stivhet fra konstruksjonen for å unngå torsjonskrefter ved horisontal lastpåvirkning. Kreftene kan tas opp av vertikale skiver eller fagverk som står parallelt med lastretningen som vist i Figur 17. Horisontale- og vertikale skiver kombinert vil gi det stiveste bygget (SINTEF Byggforsk, 2011a).



Figur 17 Lastoverføring horisontale krefter (SINTEF Byggforsk, 2011a)

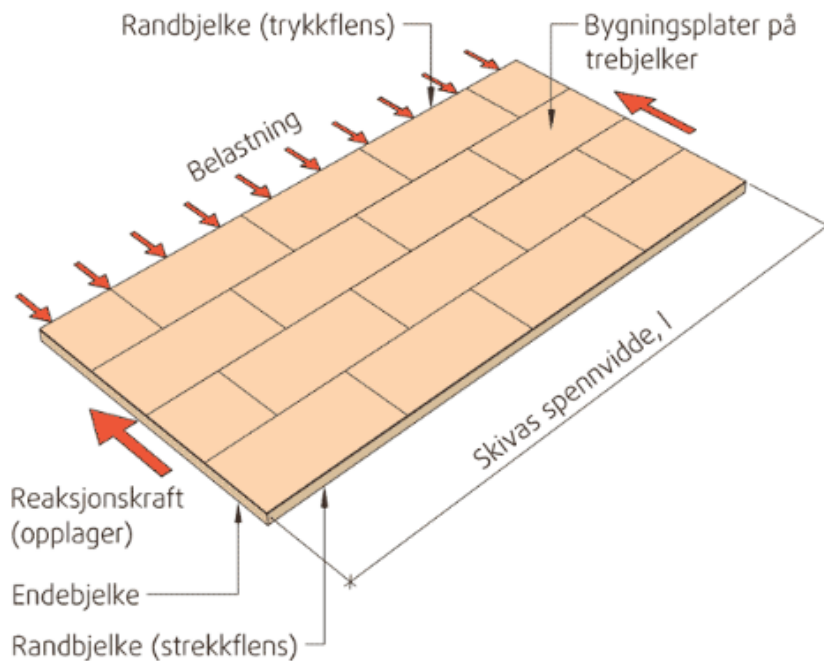
### **Stiv skive**

Stiv skive er et konstruksjonsprinsipp som brukes for å stive av og overføre krefter i bærende konstruksjoner. Skivekonstruksjonen kan betraktes som en høy I-bjelke. Randbjelkene vil fungere som flenser og platene mellom fungerer som steg. Som vist i Figur 18 vil lastoverføringen skje i skivens plan og deretter ned mot fundament via bæresystemet.

En skive kan bestå av forskjellige materialer, men for å opprettholde skiveeffekten må materialene sammenføres slik at alle delene sammen utgjør et kontinuerlig sjikt.

For takkonstruksjoner i tre har det bærende undertaket den avstivende funksjonen. Taktro som kryssfiner, trefiberplater og rupanel er materialer med tilstrekkelig skjærfasthet som fungerer til å oppnå skivevirkning i takkonstruksjoner. Platene/bordene festes i hverandre og i underliggende konstruksjoner. For minst mulig skjærkraftpåkjenning bør platene legges i samme lengderetning (SINTEF Byggforsk, 2011a).





Figur 18 Horizontal skivevirkning (SINTEF Byggforsk, 2011a)

## 2.4.2 Bæresystem i trevirke

Trevirke er et mye brukt materiale i konstruksjoner og bæresystem i Norge. Materialet er lett tilgjengelig, miljøvennlig, har god styrke og er lett å bearbeide (Knut Grønvold, 2019).

### 2.4.2.1 Tre som materiale

Trevirke er et naturlig, organisk materiale som er lett tilgjengelig. De vanligste treslagene benyttet i konstruksjonsvirke i Norge er bartrær. Bruk av gran og furu som byggemateriale har mange positive effekter. Trevirke betraktes som et klimanøytralt byggemateriale, da det gjennom fotosyntese tar opp CO<sub>2</sub> for å utvikle seg. Tre har også høy styrke i forhold til egenvekt. Bruk av trevirke innebærer også noen ulemper. Sammenligning med uorganiske materialer er trevirke svært sårbart mot fukt, og ettersom tre er organisk materiale vil det bevege seg ved skiftende fukt- og temperaturpåvirking. I tillegg kan fukt skape grunnlag for sopp- og råtedannelser som kan skade materialet (SINTEF Byggforsk, 2015c).

Trevirke er brennbart, og det brenner med konstant hastighet. Likevel har trekonstruksjoner god sikkerhet mot brann. Etter hvert som trevirke brenner dannes et forkullet lag som hindrer flammene å nå kjernen av trevirket. Kjernen vil derfor opprettholde styrke og stivhet. Konstruksjonsvirke deles inn i ulike fasthetsklasser som vist i Tabell 7 (Glasø, 2012).

Tabell 7 Fasthetsklasser på trevirke i Norge

Fasthetsklasse	Karakteristisk bøyespenning (N/mm <sup>2</sup> )
C14	14
C18	18
C24	24
C30	30

Det finnes ulike type byggematerialer av trevirke, hvor konstruksjonsvirke, bord og plater er de mest vanlige. Trevirket kan bearbeides og sammensettes på forskjellige måter for å oppnå forskjellige egenskaper (SINTEF Byggforsk, 2015d).

### **Massivtre**

Massivtre er et sterkt byggemateriale med gode brannegenskaper, satt sammen av krysslagte lameller som er limt, festet med treplugger eller spiker. Massivtre kan prefabrikeres som bygningselementer og dimensjoneres etter hvert enkelt byggeprosjekt. Elementene består av minst tre lamellelag og leveres vanligvis i tykkelser fra 50mm og oppover alt etter behov. Lameller er planker eller sjikt av trevirke og består ofte av styrkesortert gran (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 98–99).

### **Limtre**

Limtre kan forveksles med massivtre, men det er en vesentlig forskjell. Lamellene i limtre blir ikke krysslimt, de blir limt i samme retning. Limtre har høy fasthet og blir ofte brukt som bjelker eller søyler i konstruksjonen. Til forskjell fra vanlig konstruksjonsvirke oppnår limtre større fasthet. Eventuelle skader og svakheter i enkelte lameller utgjør ikke like stor skadeeffekt for det totale tverrsnittet (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 97).

### I-bjelke av tre

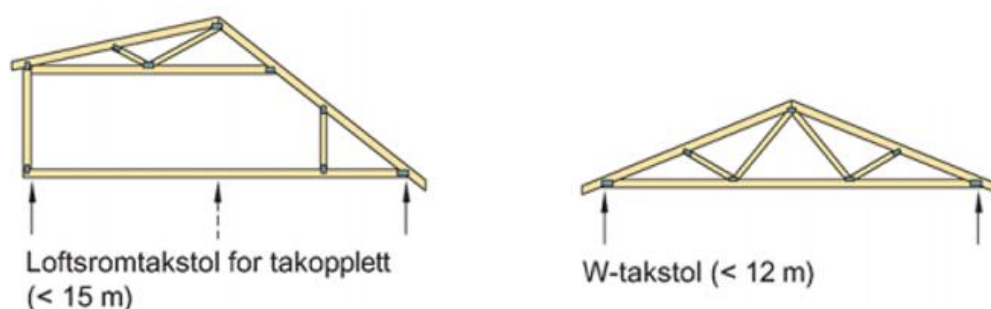
Bjelker med I-profiler har høy styrke og stivhet i forhold til egenvekten, da bjelken har optimal utnyttelse av materialet ved lastpåkjenninger. Bjelken er sammensatt av tre deler; to flenser og ett steg. Flensene har i hensikt å ta opp strekk- og trykkrefter, mens steget tar opp skjærkrefter (Store Norske Leksikon, 2019). Steg og flenser er ofte av forskjellige materialer, hvor steget ofte utføres i trefiberplater og flensene i konstruksjonsvirke eller limtre. Bjelken kan benyttes både som stendere og bjelker. Den har lav egenvekt i forhold til kapasitet og det er enklere å ta ut åpninger for rør og kanaler uten at den svekkes (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 98).

### 2.4.2.2 Trekonstruksjoner

Tretak utføres med ulike typer bæresystem, bestående av taksperrer, takstoler, takåser eller takbjelker. Bæresystem bestemmes ut ifra takform, vinkel og innvendig takhøyde.

### Takstoler

Takstol er det vanligste bæresystemet for skråtak i Norge. Bæresystemet består av takstoler normalt med c/c 600 mm mellom. Hver takstol består av et fagverk sammensatt av bjelker, stolper og avstivere som understøtter sperrene i konstruksjonen, se Figur 19. Takstolene er normalt prefabrikkerte, spesielt tilpasset den aktuelle takkonstruksjonen. Fagverkets hovedfunksjon er å overføre krefter fra takflaten til underliggende bæring. Takets bruksområde og form er avgjørende for hvilken takstol som blir brukt (SINTEF Byggforsk, 2015a).

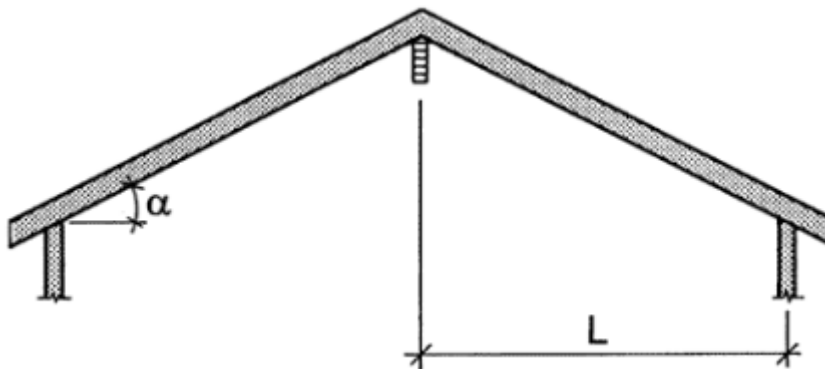


Figur 19 Eksempel på takstol (SINTEF Byggforsk, 2018a)

## Sperretak

Sperretak er en type takkonstruksjon hvor bæresystemet består av sperrer som ligger parallelt med fallretning på taket. Sperrere har opplegg på ytterveggene og/eller på innvendig støtte fra bærende innervegger eller bjelker, se Figur 20. Dette gjør at man kan utnytte loftsrommet mest mulig, til forskjell fra takstoler hvor fagverket tar opp mye av plassen.

Spennet og lastene vil være med på å bestemme dimensjonene og materialene sperrere er bygd opp av. Standard avstand mellom sperrere er c/c 600 mm. Sperrere kan bestå av konstruksjonsvirke, I-bjelker eller limtre. Sperretak kan også prefabrikeres i elementer inkludert isolasjon, diffusjonssperre og takbelegg som gir en rask lukking av bygget (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 252–254).



Figur 20 Taksperrer med opplegg i møne (SINTEF Byggforsk, 2004a)

### **2.4.3 Bæresystem i stål**

Stål er mye brukt i konstruksjoner hvor det er krav til høy styrke uten at det tar for mye plass.

#### **2.4.3.1 Stål som materiale**

Stål er et homogent og uorganisk materiale og er hovedsakelig en legering av jern og karbon som produseres i mange ulike varianter. Sammensetningen av legeringsstoffene vil bestemme egenskapene til stålet.

Sammenlignet med andre byggematerialer har stålet høy styrke i forhold til sin egenvekt. Ved høye temperaturer reduseres stålets fasthet. Dette gjør materialet svært utsatt ved brann og det krever derfor særlig isolering. I tillegg har stål høy varmeledningsevne som kan føre til kuldebro i en varmeisoleret konstruksjon (Christensen & Almar-Næss, 2019).

I tillegg til høy styrke kjennetegnes stål av god duktilitet, som beskriver i hvilken grad materialet er «seigt», evnen til å deformeres før brudd. Duktiliteten kan gi en indikasjon for brudd i form av visuelle deformasjoner (Lohne, 2018).

### Stålkvaliteter

Stål deles inn i ulike kvaliteter basert på formål, behandling og egenskaper. Figur 21 viser et eksempel på ulike stålkvaliteter. Sammenhengen mellom kvaliteten og bruddfastheten i henholdsvis elastisk («*Sträckgräns*») og plastisk deformasjon («*Brottgräns*») er også vist i figuren.

Varmförsinkt stålmaterial, konstruktionsstål motsvarande europastandarden EN 10 326				
Beteckning SSAB	Europa normbeteckning	Sträckgräns, min $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	Brottgräns, min $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Förlängning A80 <sup>1</sup> % min
SUB 250	S250GD+Z	250	330	19
SUB 280	S280GD+Z	280	360	18
SUB 320	S320GD+Z	320	390	17
SUB 350	S350GD+Z	350	420	16

Figur 21 Eksempel på stålkvaliteter (SSAB, u.å.)

Tabell 8 viser forklaring av betegnelse som brukes til å beskrive egenskapene til stålkvalitet.

Tabell 8 Betegnelse ved stålkvaliteter

Betegnelser	Forklaring
S	Konstruktjonsstål
G	Andre egenskaper følger
D	Behandling varmdyping
Z (eventuelt tall)	Sink (g/m <sup>2</sup> )
M	Magnesium
A	Aluminium

### **2.4.3.2 Stålkonstruksjoner**

Stålkonstruksjoner har høy fasthet i forhold til tykkelse, og har derfor ofte slankere dimensjoner sammenlignet med trevirke. Bjelker og søyler av stål benyttes derfor ofte for plassbesparelser i konstruksjonen.

Stålkonstruksjoner må isoleres spesielt med hensyn til sikkerhet mot brann. Dette fordi fastheten i materialet svekkes betraktelig ved høy temperatur. Kuldebroen stålet lager bør også brytes, dette kan gjøres enten ved innslag av trevirke, isolasjon eller andre materialer med lav varmekonduktivitet.

#### **Kaldformede profiler av stål**

I store og kraftige konstruksjoner er det vanlig å bruke varmvalsede profiler for hovedbæringen. For sekundærbæring i konstruksjoner, som for eksempel for tak, er det gjerne ønskelig med tynne og lette profiler. Disse kaldformes av tynne stålplater. For å unngå korrosjon brukes ofte varmforsinket profil (Per Kr. Larsen, 2004, s. 137).

## **2.5 Helse, miljø og sikkerhet**

Tilrettelegging for helse, miljø og sikkerhet (HMS) er en viktig del av alle virksomheter. Det å skape en trygg arbeidsplass handler i stor grad om forebyggende tiltak. Det er viktig at alle aktører tar ansvar. I lovverk er det beskrevet regler som sammenfatter forskjellige krav til sikkerhet og kvalitetsbetingelser som produksjoner og produkter skal oppfylle. Kravene innebærer også tilrettelegging av arbeidsplass for å sikre ytre miljø og gi trygghet for den som gjør jobben. For mindre bedrifter der risikoen for brann, forurensning og ulykker er lavere er gjerne HMS rutinene mindre omfattende enn hos større bedrifter. Kravene til HMS i gjeldene lovverks skal allikevel oppfylles («Arbeidstilsynet, HMS», u.å.).

### **2.5.1 Risikofaktorer**

Arbeid på byggeplass kan inneholde flere risikofaktorer for uønskede hendelser. Fremdrift og økonomi er ofte pressede faktorer i byggebransjen, særlig ved større prosjekter, og uaktsomhet av hensyn til disse faktorene kan øke risikoen for uønskede hendelser. En typisk risikofaktor kan være at flere fagfelt jobber samtidig på byggeplassen, og med mange

arbeidere på samme sted kombinert med mangelfull koordinering kan faren for uønskede hendelser øke. Andre faktorer kan være krevende klimatiske forhold som is, snø og vind. Utførelse av særlig risikofylt arbeid som for eksempel arbeid i høyden, elementmontasje, bruk av utstyr som kran eller stige, lasting og lossing av biler og bruk av kjøretøy i trange uoversiktlige gater øker risikoen. Ved slike situasjoner kan et grundig HMS arbeid vise seg avgjørende for å unngå uønskede hendelser (Arbeidstilsynet, u.å.).

## **2.6 CO<sub>2</sub>-avtrykk**

Klimagasser har mye av skylden for klimautfordringene vi står ovenfor. Klimagasser bidrar til global oppvarming gjennom drivhuseffekten, som bidrar til ekstreme forandringer på kloden. Produksjon og transport av byggevarer og materialer bidrar til utslipp av klimagasser. Ved å redusere utslippet og dermed bremse klimaendringene, bør produkter og metoder som begrenser dette benyttes («FN-sambandet, CO<sub>2</sub>-utslipp», 2017). Klimagassregnskap regnes i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>e), for å få en felles benevnning for alle gassene. Den potensielle effekten de ulike klimagassene har på den globale oppvarmingen (GWP), beregnes ut ifra GWP-verdien gassen har (Olerud & Lahn, 2020).

For å holde miljøbelastningen fra bygg- og anleggsbransjen nede er det utarbeidet miljøsertifiseringer. Disse bekrefter at et produkt, bedrift eller prosjekt er miljøbevisst og tilfredsstillende eventuelle miljøkrav (Karlsen, 2020).

### **2.6.1 EPD**

EPD er en miljødeklarasjon for et produkt, komponent eller tjeneste. EPD er utarbeidet av en tredjepart uten kommersiell interesse for produktet. Standardiserte metoder er benyttet for oppsett og utarbeidelse, slik at det er enkelt å sammenligne ulike produkter, uavhengig av opphav. EPD er basert på en livsløpsanalyse (LCA) for å beskrive hele miljøprofilen fra råvare til resirkulering, og inkluderer blant annet transport og energiforbruk («EPD Norge», 2020).

## **2.7 Anskaffelser**

Anskaffelse handler om å kjøpe eller innhente varer eller tjenester til et prosjekt. Anskaffelsen er ofte knyttet til at en ekstern leverandør yter en leveranse til et prosjekt ved at tiltakshaver (kontrahent) bestiller en vare/tjeneste fra leverandør (kontraktør). Anskaffelsen kan skje ved et tilbud eller anbud (Rolstadås, Olsson, Johansen, & Langlo, 2020, s. 344–345).

### **2.7.1 Tilbud**

Et tilbud er en forpliktelse fra leverandør til å levere de varer og tjenester som er angitt. Tilbudet er knyttet til en spesifisert pris og leveringstid. Tilbudet er bindende for leverandøren, men det kan forhandles om detaljer innen de frister som er satt. Dersom kunden aksepterer tilbudet er det inngått en formell avtale mellom begge partene (Rolstadås et al., 2020, s. 345).

### **2.7.2 Anbud**

Anbud er et bindende tilbud om å utføre et arbeid eller levere en tjeneste eller varer på tiltakshavers vilkår. For å kunne innhente det beste tilbudet må konkurransegrunnlaget inneholde nødvendige spesifikasjoner tilknyttet tiltaket. Ved et lukket anbud kan utbyder selv bestemme hvem som skal bli med i konkurransen. Åpent anbud tillater alle anbydere å komme med tilbud. Hensikten med konkurransen er innhente det beste tilbudet, som gjerne er en hensiktsmessig kombinasjon av hensyn til pris og vilkår. Det kan ikke forhandles om detaljer etter anbudsfristens utløp. Anbudet kan bare antas eller forkastes (Rolstadås et al., 2020, s. 345).



## **2.8 Entrepriseformer**

En entrepriseform er en kontrakt mellom tiltakshaver og entreprenør, som fordeler ansvar og risiko knyttet til et prosjekt. Det finnes mange forskjellige entrepriseformer, hvor ansvaret og oppgaver er strukturert på forskjellige måter. Hvilken entrepriseform som velges har i stor grad sammenheng med hvilke varer og tjenester som skal til for å realisere prosjektet. Denne kontrakten fungerer som et rammeverk for samarbeidet mellom tiltakshaver og entreprenør og definerer gjennomføringen av prosjektet (Direktoratet for byggkvalitet, 2010, Kapittel 3.2.5 Entrepriseformer).

### **2.8.1 Totalentreprise**

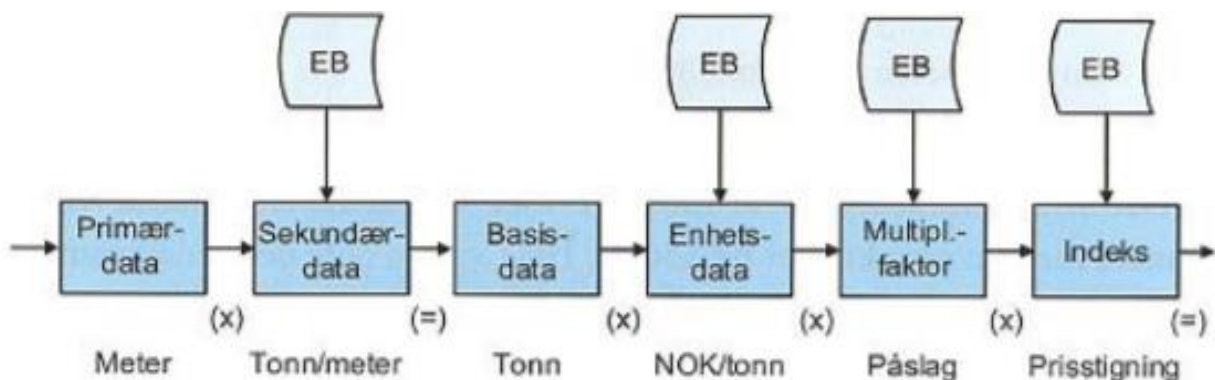
Ved en totalentreprise fraskriver tiltakshaver sitt ansvar til totalentreprenør. Entreprenøren får hovedansvar for prosjektet og tar for seg prosjektering og utførelse inklusive innkjøp. Totalentreprenør kan selv velge å utføre prosjektet innad i prosjektorganisasjonen eller benytte seg av underentreprenører. Ved totalentreprise har tiltakshaver få myndigheter til å påvirke byggearbeid underveis, som for eksempel valg underentreprenør (Rolstadås et al., 2020, s. 355).

## 2.9 Kostnadsestimering

Det er av interesse for eiere, finansierende parter og andre interessenter å vite sluttkostnaden for prosjektet. Det er derfor viktig å kunne estimere kostnader og tidsbehov knyttet til prosjektet. Det finnes ulike teknikker og metoder for estimering, men en fellesnevner er at det knyttes en viss usikkerhet til samtlige. Hvilken prosjektfase estimatet foregår i, har stor betydning for usikkerheten. Estimering i innledende faser kan ha en usikkerhet opp 50 %. Etter hvert som prosjektet blir identifisert og definert reduseres usikkerheten (Rolstadås et al., 2020, s. 226–228).

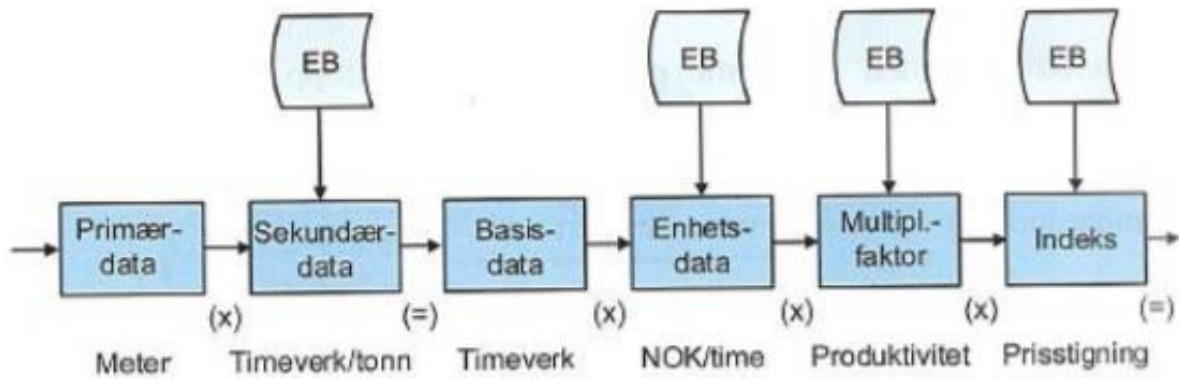
### 2.9.1 Estimering materialer og arbeid

Estimering av materialer gjøres ved hjelp av en estimeringsdatabase (EB), der samling av erfaringsbaserte data er lagret. Ved estimering av nye prosjekter legges primærdataba til grunn, som for eksempel antall kvadratmeter takflate. Ved hjelp av estimeringskjeden som vist i Figur 22 benyttes databasen til å beregne sluttkostnad (Rolstadås et al., 2020, s. 239).



Figur 22 Estimeringskjede for materialkostnader (Rolstadås et al., 2020, s. 239)

Som vist i Figur 23 benyttes samme metode for å beregne arbeidstimer. I praksis regner databasen ut både arbeidstimer, arbeidskostnad og materialkostnad samtidig basert på samme primærdata (Rolstadås et al., 2020, s. 239).



Figur 23 Estimeringskjede for arbeidskostnader (Rolstadås et al., 2020, s. 238)

### **3 MATERIALER OG METODE**

Dette kapitlet omhandler hvilke metoder og dataprogrammer vi har benyttet for å komme frem til resultatene i oppgaven.

#### **3.1 Dataprogram / Programvare**

##### **Holte SmartKalk**

Holte SmartKalk er et fleksibelt kalkulasjonssystem som benyttes som estimeringsdatabase for priser og arbeidstimer. Det er et verktøy med høy treffsikkerhet, da Holte SmartKalk har Norges største og mest anerkjente database med kontinuerlig oppdateringer (Holte.no, u.å.).

##### **Norsk Prisbok**

Norsk Prisbok er en kontinuerlig oppdatert estimeringsdatabase utarbeidet av Norconsult informasjonssystemer AS. Prisboken følger utviklingen i byggebransjen regelmessig både med tanke på priser, løsninger og CO<sub>2</sub>-avtrykk (Norsk Prisbok, u.å.).

##### **One Click LCA**

One Click LCA programvare som beregner livssyklusen til konstruksjoner, som kan gjøre beregninger for klimafotavtrykket til blant annet tak. Det er en av den største samlingen av EPD samlet i et system, som gir muligheten til å sammenligne og velge de mest klimavennlige løsningene (One Click LCA, 2018).

##### **Excel**

Excel er et dataprogram produsert av Microsoft, og fungerer som et regneark. Regnearket kan utføre beregninger av matematiske problemer, og enkelt gi oversikt over tall i tabeller. Programmet kan også brukes til å visualisere tall i illustrasjoner og diagrammer (Microsoft Office Excel, 2019).

### **Energiprogram på Rockwool.no**

Energiprogrammet på Rockwool.no er et beregningsprogram som kan benyttes til å regne ut U-verdi for en bygningsdel (Rockwool, 2017).

## **3.2 Metode**

Det skilles mellom planlagt metode og gjennomført metode, hvor man går inn på hvordan metodene ble utført i forhold til plan. Det beskrives også hvordan ulike dataprogrammer er benyttet i metoden.

Oppdragsgiver ønsker at sensitive priser og kostnader holdes konfidensielle, og blir dermed presentert i form av forholdstall, faktorer og prosent.

### **3.2.1 Lättelement**

#### **Planlagt metode:**

PEAB hadde allerede innhentet tilbud fra Lättelement i forkant. Tilbudet inneholdt pris uten montasje, oppbygging, tegninger og klassifiseringer. For å finne totalpris inklusiv montasje, måtte arbeidstimer beregnes i tillegg. Tilbudet hadde noen mindre mangler, og det var behov for utfyllende informasjon om funksjon, CO<sub>2</sub>-avtrykk og oppbyggingen av elementene.

#### **Gjennomført metode:**

Prosjekteringssjef Olov Edlund i Lättelement, var behjelpelig med å etterkomme den informasjonen som ble etterspurt. Montasjen av taket ble gjennomført parallelt med oppgaven. Dette gav mulighet til å observere deler av montasjen på byggeplassen. Basert på observasjoner og informasjon fra PEAB var det mulig å komme frem til en tilnærmet nøyaktig montasjetid.

### **3.2.2 Lett-Tak**

#### **Planlagt metode:**

Opprinnelig var ønsket å innhente et komplett tilbud for den aktuelle konstruksjonen. Tilbudet skulle inneholde totalpris for hele taket samt informasjon vedrørende klassifiseringer, oppbygning/funksjon, CO<sub>2</sub>-utslipp og byggetid.

### **Gjennomført metode:**

Prosjektingeniør Gitte Manvik i Lett-Tak var behjelpelig med å bistå med et komplett tilbud på takløsning med element.

Tegningsgrunnlag og andre nødvendige data dannet grunnlaget for tilbudet. Det ble også forespurt et alternativt tilbud som inneholdt noen små endringer i oppbygging og krav til taket. Dette for å ha et tilbud som var tilnærmet lik som tilbudet fra Lättelement. Dette hadde dessverre ikke Lett-Tak kapasitet til å levere.

### **3.2.3 Plassbygd tak**

#### **Planlagt metode:**

Ønsket var å innhente et tilbud på precut sperrer til tak, som inneholdt detaljtegninger, priser og arbeidsmengde. Videre kunne dette grunnlaget benyttes for å estimere og kalkulere materialer og arbeidstimer for et komplett tak. Dette viste seg å være for komplisert og tidskrevende for at leverandøren ønsket å prioritere dette. Derfor måtte metoden for estimeringen revideres.

For kontroll av kostnadsestimeringen var ønsket å benytte PEAB sine priser fra grossist, slik at resultatet skulle bli så realistisk som mulig.

#### **Revidert planlagt metode:**

Siden planlagt metode ikke kunne gjennomføres, ble revidert plan å gjøre beregninger av nødvendige dimensjoner selv, med bistand fra leverandør. Ønsket var i tillegg å få detaljprosjektet et lite utsnitt av taket, slik at arbeidsmengden var overkommelig for leverandør. I beregningene skulle estimeringsdatabaser benyttes. Men revidert plan ble også for omfattende for leverandør, grunnet manglende ressurser på arbeidsplass.

#### **Gjennomført metode:**

Leverandør leverte et grovestimat for 24 stk. sperrer, med nødvendig dimensjon og pris. Dette ble brukt til å kalkulere opp til riktig mengde ved å finne en pris per kvadratmeter. Deretter

ble dette multiplisert med antall kvadratmeter for hele taket, slik at en totalpris for sperrekonstruksjonen ble oppnådd, se utregning i Formel 1.

*Formel 1 Utregning av totalpris sperrekonstruksjon*

$$\left( \frac{\text{totalpris fra tilbud}}{\text{antall meter fra tilbud}} \right) * \text{antall m pr m}^2 * \text{total m}^2 \text{ for tak} = \text{totalpris sperrekonstruksjon}$$

Prisestimeringen av de resterende materialene i oppbygningen av taket ble gjort ved hjelp av estimeringsdatabaser, og egne estimeringer fra lokal byggevareforhandler. Formel 2 illustrerer hvordan prisene fra de forskjellige kildene ble benyttet for å finne en gjennomsnittspris. Denne prisen ble så grunnlaget for videre vurdering i oppgaven.

For Holte SmartKalk og Norsk Prisbok ble det lagt inn poster for hvert av material. Hver post inneholdt informasjon om materialet, festemateriell og arbeidstimer, per kvadratmeter. Deretter ble dette multiplisert med antall kvadratmeter for hele takflaten, slik at en totalpris ble estimert.

På bakgrunn av at tilgang til grossistpriser fra PEAB ikke ble gitt. Måtte lokal byggevarehandel benyttes, da PEAB mente dette skulle tilsvare deres priser hos grossist. Beregningen av arbeidstimer ble anslått fra PEAB.

Tilbudet og estimeringen av det plassbygde taket vil ha en viss usikkerhet. Oppgaven er en del av en konseptdefineringsfase. Derfor legges det inn en usikkerhetsfaktor på 15% på prisestimatet (Rolstadås et al., 2020, s. 227).

*Formel 2 Utregning av pris ved bruk av gjennomsnitt*

$$\left( \frac{\text{Data kilde 1} + \text{Data kilde 2} + \text{Data Kilde 3} \dots + \text{Data Kilde n}}{n} \right) * 1,15 = \text{Prisestimat}$$

*Data Kilde n: Pris på materialer + Pris Arbeidstimer*

For å beregne konstruksjonens U-verdi, ble energiprogrammet på Rockwool sine hjemmesider benyttet (Rockwool, 2017). Her ble tykkelse og type materialer plottet inn slik at programmet kalkulerte U-verdien.

### 3.3 Vekting

Vektig og poeng for sammenligning, blir gitt etter følgende prinsipper:

Tilbyderne kan oppnå en maksimal totalscore på 100 poeng. Totalscoren fordeles på de ulike kriteriene, som er basert på både kvantitative og kvalitative forhold.

#### Kriterier med kvantitative forhold

- ❖ Pris
- ❖ Byggetid
- ❖ CO<sub>2</sub>-avtrykk

#### Kriterier med kvalitative forhold

- ❖ Funksjon
- ❖ HMS
- ❖ Fleksibilitet

Kvantitative forhold som pris og byggetid, baserer seg på tallfestede verdier. Disse vurderes ut ifra en vektingsmetode, hvor alternativet med lavest pris og kortest byggetid oppnår full score på det aktuelle kriteriet. De øvrige alternativene vektet og beregnes ut ifra det beste resultatet, se utregning i Tabell 9.

Tabell 9 Eksempel på beregning av poeng ved kvantitative kriterier

	Tilbyder 1	Tilbyder 2	Tilbyder 3
Pris	180 000kr	100 000kr	150 000kr
Utregning	$\left(\frac{100\ 000kr}{180\ 000kr}\right)$ * 30 poeng	Tilbyder nr. 2 er best med lavest pris på 100 000 kr, og får dermed 30 poeng (full score).	$\left(\frac{100\ 000kr}{150\ 000kr}\right)$ * 30 poeng
<b>Poeng</b>	<b>16,67</b>	<b>30</b>	<b>20</b>



Kvalitative forhold vurderes i to trinn:

(1) Først gjøres det en vurdering for å tallfeste hvert enkelt kriterium. Vurderingen baseres på hvilke egenskaper/effekt som oppnås i forhold til rammebetingelser og krav. Egenskapene blir vurderet etter følgende skala:

- ❖ 0: Ikke tilfredsstillende
- ❖ 1: Tilfredsstillende minstekrav
- ❖ 2: Tilfredsstillende utover minstekrav
- ❖ 3: Svært tilfredsstillende (har svært gode egenskaper/muligheter utover minstekrav)

(2) De tallfestede verdiene for de ulike egenskapene summeres til en total verdi, som danner grunnlag for poengsetting på totalscore.

Eksempel på vurdering av et kvantitativt forhold, med høyeste score(vektall) på 7 poeng, er illustrert i Tabell 10.

*Tabell 10 Eksempel på beregning av poeng for kvalitative kriterier*

	<b>Tilbyder 1</b>	<b>Tilbyder 2</b>	<b>Tilbyder 3</b>
Fukt under montering/bygging	3	3	1
Takbelegg/Tekking	1	2	2
Isolasjon	1	1	1
<b>Sum</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>4</b>
Utrekning	$\left(\frac{5}{6}\right) * 7 \text{ poeng}$	7 (Høyeste sum gir full score)	$\left(\frac{4}{6}\right) * 7 \text{ poeng}$
<b>Poeng</b>	<b>5,83</b>	<b>7</b>	<b>4,67</b>

## 4 HOVEDDEL

I denne delen av oppgaven presenteres og sammenlignes takløsningene og tilbudene for boligblokken på UP. Det er tatt utgangspunkt i tre ulike løsninger som var aktuelle. To løsninger er med prefabrikkerte elementer, og en med plassbygd tak med precut sperrer. PEAB har på forhånd valgt å benytte et elementtak fra Lättelement AB, og dette er dermed ett av tilbudene som vurderes. I tillegg er det hentet inn tilbud på elementtak fra Lett-Tak Systemer AS, og estimert et plassbygd tak av precut sperrer fra Masonite Beams. Vurdering og sammenligning er basert på kriteriene; pris, byggetid, funksjon, HMS, CO<sub>2</sub>-avtrykk og fleksibilitet. Disse vurderes med forskjellig vektningstall etter deres betydning, og preferanser ved vurdering.

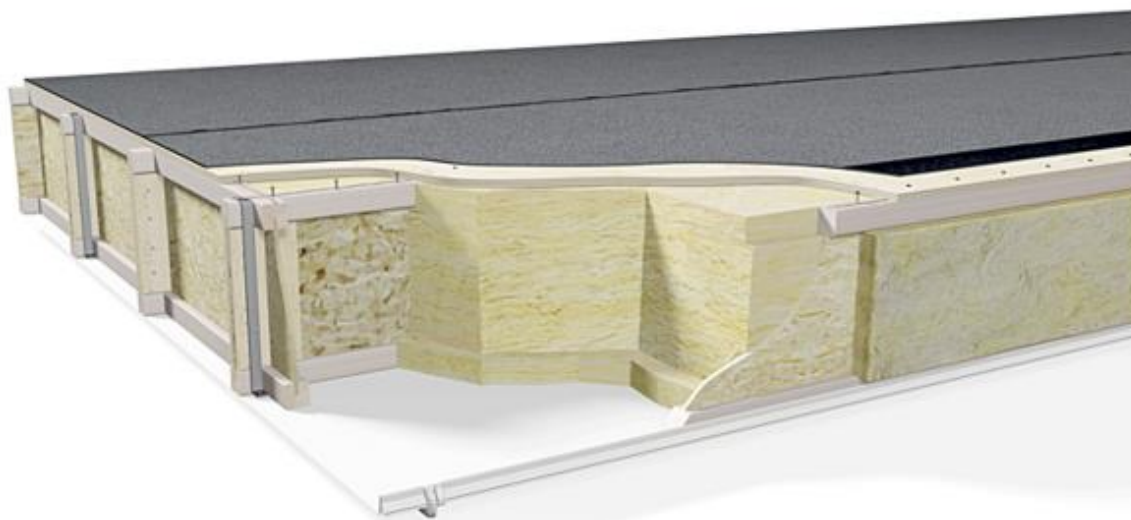
Tilbudene består av følgende:

- ❖ Takbelegg/undertakbelegg
- ❖ Bæresystem
- ❖ Isolasjon
- ❖ Diffusjonssperre
- ❖ Festemateriell

Alle løsningene er dimensjonert for aktuelle laster, og har egenskaper som en stiv skive. Egenvekt inkluderer skifertekking. Leker, skifertekking, nedforing og himling er ikke med i vurderingen, da dette uansett må inkluderes i alle løsningene. Det er heller ikke tatt med takopplett/arcker, takterrasser og takvindu.

## 4.1 Lättelement AB

Lättelement AB er et svensk selskap, etablert 1979 i Örnsköldsvik, Øst i Sverige. Selskapet er spesialisert på prefabrikkerte trekonstruksjoner, hovedsakelig takelementer. Disse produseres, leveres og monteres etter kundens bestilling. Lättelement bruker I-bjelker som hovedbæring i systemet. I-bjelkene er krysslågt, som gjør at de kan ta opp lange spenn, med relativt slanke tverrsnitt, se Figur 24. Som diffusjonssperre benyttes en stålplate som også er med på å ta opp strekkrefter. Dette skiller Lättelement fra andre konkurrenter. Lättelement jobber kontinuerlig med å effektivisere byggetiden, samt å øke produktkvaliteten uten at det går på bekostning av sikkerheten ved montasje (Lättelement.se, 2015).



Figur 24 Eksempel på elementsnitt (Lättelement.se, 2015)

### 4.1.1 Materialer

Lättelement leverer komplett takelement, som er satt sammen av fem delelement; undertaksbelegg, bærende undertak, isolasjon, I-bjelker og dampsperre. Dette gjør at systemet oppnår god bære- og isolasjonsevne med slanke tverrsnitt. Elementets standardbredde er 2400 mm og kan leveres med spenn opp til 19 meter. Egenvekten varierer fra 19-30 kg/m<sup>2</sup>. Systemet leveres i brannkasse REI 15-90. Alt dette avhenger av elementets tykkelse (Lättelement.se, 2015, d. 2.4 Broschyr Sverige).

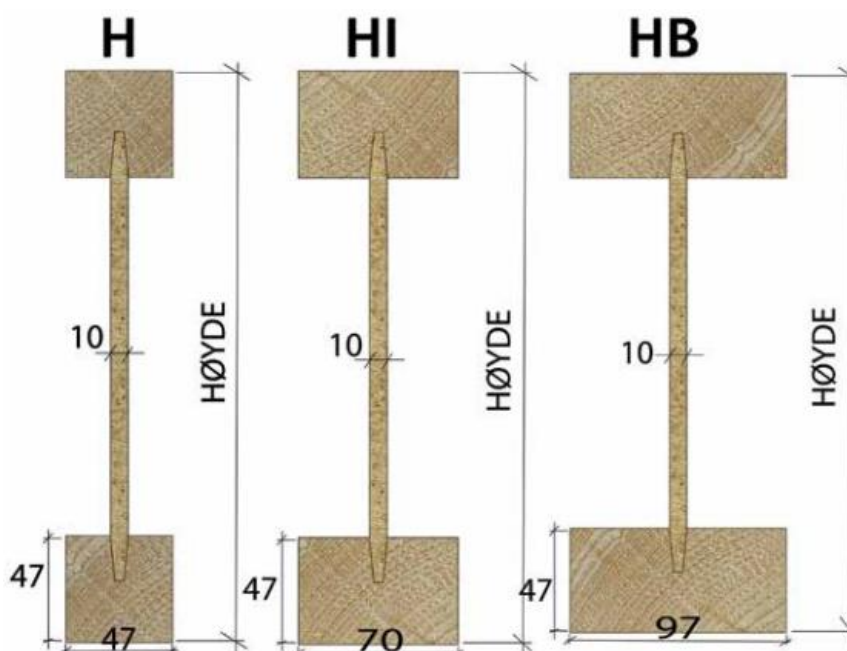
### Tekking

Undertaksbelegget er en diffusjonstett formstabil underlagspapp av type Icopal Micoral YAM 2500. Dette er et belegg med en mineralstamme som gjør at eksponeringstiden for UV ståling er begrenset, men gir den gode brannegenskaper (Icopal.se, u.å.-b).

I elementskjøtene benyttes et belegg av typen Icopal Membrane 3 YEP 4000. Dette er et mer robust og elastisk belegg med polyesterstamme. Belegget kan legges på alle underlag og sveises med åpen flamme (Icopal.se, u.å.-a).

### I-bjelker

I-bjelkene leveres av Masonite Beams og utgjør den bærende delen i systemet. Flensene er av konstruksjonsvirke og steget er av OSB-plate, se tverrsnitt i Figur 25. Bjelkene er meget formstabile og har en lav varmeledningsevne som er med på å gi lav U-verdi. Bjelkene ligger både parallelt og på tvers av fallretningen på taket. Avstand mellom tverrbjelkene kan variere, mens parallellbjelkene har avstand c/c 600 mm. Dette er med på å fordele lastene på flere I-bjelker. I-bjelkene gir elementene lav egenvekt samtidig som de opprettholder god bæreevne som forklart i Kapittel 2.4.2.1 (Masonite Beams, 2020).



Figur 25 Profiltverrsnitt av I-Bjelker (Masonite Beams, 2020)

### **Kryssfinerplate**

Konstruksjonsfiner fra Moelven Vänerply brukes som bærende undertak for undertaksbelegget. Platene festes i overkant av I-bjelkene, og er med på å ta opp trykkrefter. Platene er også avgjørende for å gjøre takflaten til en stiv skive, da de er festet i et kontinuerlig sjikt over hele taket.

### **Mineralull**

Hulrommene i elementet fylles med mineralull av glassfiber fra Isover Saint-Gobain. Mineralullen gir elementene isolerende evne mot varmetap, brann og lydtransmisjon, med varmekonduktivitet på 0,039 W/mK og brannklassifisering A1 (Vedlegg 13, Epost 1).

### **Stålplate**

Platen er av varmforsinket stål, og er festet underkant av i I-bjelkene. Stålplaten er polyesterlakkert som gjør overflaten slitesterk. Platen har i hensikt å ta opp strekkrefter og fungerer som diffusjonssperre. Den er dermed en del av bæresystemet, og er med på å gi et slankere tverrsnitt. Ved en eventuell brann har stålplaten en beskyttende effekt mot flammer ovenfor I-bjelke. Bæresystemet er dimensjoner for å holde uten hjelp av stålplaten. Dette er fordi stål som kjent, mister sin kapasitet når det blir utsatt for varme (Lättelement.se, 2015).

For å oppnå en tilstrekkelig diffusjonstett konstruksjon benyttes en gummilist som pakning mot opplegg og andre element. Den tar også opp vibrasjoner som kan oppstå, og er med på å gi en lydisolerende effekt. Gummilisten er av materialet EPDM og har svært god vanndampmotstand.

### 4.1.2 Tilbud

Tilbudet fra Lättelement inneholder komplett takkonstruksjon eks. montering, se Tabell 11. Takopplett og takvinduer er ikke inkludert i tilbudet. Montasjeavising og nødvendig tilbehør følger med i leveransen. Leveransen er på 672m<sup>2</sup> av elementtype A254, se Vedlegg 4 for snittegning.

Tabell 11 Tilbud Lättelement

<b>Elementtype A254</b>		
<b>Leveranse</b>	<b>Verdier</b>	<b>Merknad</b>
Areal	672m <sup>2</sup>	
Byggetid	300 timer	Faktisk byggetid
Maksimal tillatt spennvidde	9,1m	
U-verdi	0,15 W/m <sup>2</sup> K	Gjelder kun elementet, uten nedforing.
Brannklasse	REI 30	Må nedfores for å tilfredsstille brannkrav.
Tykkelse element	266 mm	Undertaksbelegg - stålplate
Transport (km)	811 km	Levert med totalt 3 lastebiler
<b>Elementbeskrivelse</b>	<b>Klassifisering</b>	<b>Merknad</b>
<b>Takbelegg</b>		
Icopal Membrane 3 YEP 4000	Brannklassifisering: F	
Icopal Micoral YAM 2500	Brannklassifisering: F	
<b>Elementkjerne</b>		
Kryssfiner 14,5 mm	Brannklassifisering: D-s2, d0	Konstruksjonsfiner
I-bjelke Masonite H250 Stegtykkelse:10mm OSB	C30	

Flenstykkelser: 47x47 mm Høyde: 250 mm		
Isover Isolasjon 200+50 mm	Brannklasse: A1 Varmekonduktivitet 0,039 W/mK	
<b>Himling</b>		
Stålplate 0,5 mm	Stålkvalitet: S350GD+Z	Navn på stålplaten: SUB350
<b>Skjøt</b>		
Gummilist	Kvalitet: EPDM	

Elementene er dimensjonert for lastene nevnt i Tabell 12.

*Tabell 12 Laster Lättelement er dimensjonert for*

Laster	Verdi	Merknader
Egenvekt inkludert skifer	0,8 kN/m <sup>2</sup>	Inkluderer skifertekking
Vindlast	1,72 kN/m <sup>2</sup>	
Installasjonslast	0,36 kN/m <sup>2</sup>	
Snølast	3,6 kN/m <sup>2</sup>	

*Krav til maksimal nedbøyning på element er L/300*

### **Tilbehør**

Leveransen inneholder spesialverktøy for montasje. Dette må leveres tilbake 10 dager etter avsluttet montasje. Det følger også med forbruksmateriale til skjøtlegging av element, se Vedlegg 5.

### 4.1.3 Montasje

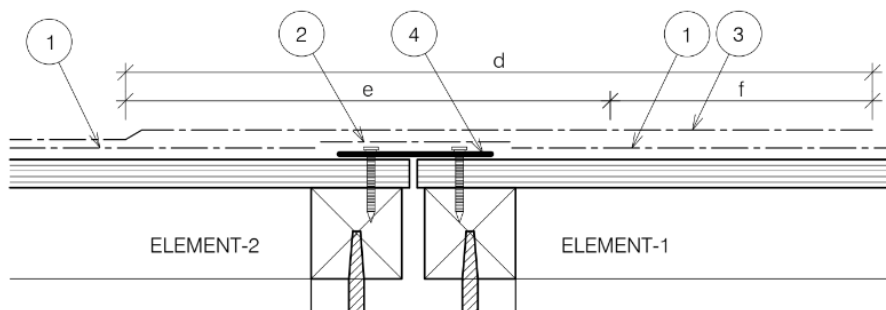
Elementene blir transportert med lastebil fra Sverige og blir losset av på byggeplass før montasje. Elementene løftes så på plass med kran etter montasjeanvisning medfulgt i leveransen. Før montering må leveransen kontrolleres for skade. For utfyllende montasjeanvisning se Vedlegg 5.

Skjøten mellom elementene utføres forskjellig på lang- og kortsiden.

#### Langside

Langsiden av elementene er tilpasset hverandre slik at de lett kan skjøtes sammen.

Elementene klemmes sammen ved hjelp av en jekketalje. Om mulig skal kran være tilkoblet under hele montasjen for sikkerhetsmessige hensyn. For å oppnå en stiv skive festes finerplatene sammen ved hjelp av spikerplater i overkant, se Figur 26. Elementene festes med beslag mot opplegg i underkant. Skjøten stiftes over med YAM 2500, og sveises over med YEP 4000.



Figur 26 Skjøteprinsipp på langside av element (Lättelement.se, 2015)

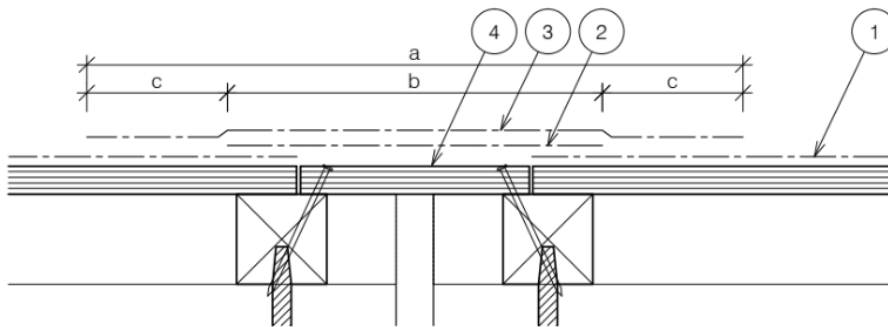
1. Fabrikkmontert underlagspapp YAM 2500.
2. YAM 2500,  $b=100$  mm, stiftes over spikerplaten.
3. Forsveiset rems av YEP 4000,  $b=500$  mm, kantsveises.
4. Spikerplate, s150.



### Kortside

Kortside av element er ikke tilpasset skjøting og må skjøtes for hånd. Beslag brukes for å feste element i underliggende bærende konstruksjon. Hulrom mellom elementene isoleres.

Overkant av skjøt dekkes med en lask i kryssfiner, for å oppnå stiv skive. Festet lask stiftes over med YAM 2500 og sveises med YEP 4000, som illustrert i Figur 27.



Figur 27 Skjøteprinsipp på kortside av element (Lättelement.se, 2015)

1. Fabrikkmontert underlagspapp YAM 2500.
2. YAM 2500,  $b=200$  mm, stiftes lask.
3. YEP 4000,  $a=500$  mm, kantsveises.
4. Kryssfinerplate, passkappes og spikres med 2,8x75 s150.

### Innfestningspunkt

Takets elementer festets i opplegg gjennom spesielle innfestningspunkt. Disse befinner seg inne i selve elementet, illustrert i Figur 28. For å nå ned til innfestningspunktet benyttes drill med forlenger. Hullene fylles med isolasjon, tettes med plastlokk og ettersveises med YEP 4000.



Figur 28 Innfestningsmontasje

#### 4.1.4 Pris

Tilbudet fra Lättelement inkluderer komplett tak og montasjetilbehør. Prisen inkluderer arbeidstimer for montasje, se Tabell 13.

Tabell 13 Prisoversikt Lättelement

Pris	Verdi	Merknad
Komplett takkonstruksjon av elementer inkludert arbeidstimer for montering.	1	Prisen settes til 1 som blir referanseverdi for resten av oppgaven.
<b>Tilleggs kostnader</b>		
Leie av tilbehør	50 000 kr	Depositum må leveres tilbake 10 dager etter endt montasje.

For komplett pristilbud se Vedlegg 14.

#### 4.1.5 Helse, miljø og sikkerhet (HMS)

##### Montering

Som beskrevet i kapittel 2.5.1. innebærer montering av elementer flere risikofaktorer. Fall fra høyde, klemfare ved kraning og plassering av element.

God montasjeanvisning gjør det enkelt å montere elementene. Det kan derimot øke faren for uønskede hendelser dersom montørene har lite kunnskap om montering av slike element.

Lättelement tilbyr montasjeveiledning på byggeplass i oppstartsfasen av montasjen. De tilbyr også å montere elementene selv, dette utføres av erfarne montører. Dette alternativet kan redusere faren for byggefeil og uønskede hendelser.

### **Produksjon**

For å oppnå høy produktkvalitet produseres elementene under kontrollerte forhold med standardiserte og dokumenterte byggemetoder. Dette minimerer faren for uønskede hendelser. Lättelement produserer elementene sine i fabrikk, under varme og tørre omgivelser. Det hindrer at uønsket fukt trenger inn i elementene.

Avdeling for produksjon setter sammen elementene. Det gjøres ved at deelementene holdes på plass av maskiner og spikres for hånd. Underlagspapp, isolasjon og stålplate blir også montert for hånd.

Produksjonen er underlagt strenge produkt- og produksjonskontroller i henhold til kontrakt med SITAC, Sveriges sertifiseringsorgan. Elementene kontrolleres kontinuerlig av SP, Sveriges tekniske forskningsinstitutt. Dette medfører teknisk godkjente produkter (Vedlegg 17) og lave utslipp knyttet produksjon (Lättelement.se, 2015).

#### 4.1.6 CO<sub>2</sub>-avtrykk

Lättelement er svært miljøbevisste på materialvalg og uttrykker seg for å ha verdens mest miljøvennlige tak på markedet. Materialene kommer fra nærliggende leverandører som begrenser utslippene knyttet til transport. I tillegg er materialene resirkulerbare og miljøsertifisert (Lättelement.se, 2015, d. Miljø).

Beregningene i Tabell 14 er innhentet av Lättelement, og er basert på elementtype A354 (Vedlegg 10). I Epost 2, Vedlegg 13 ble det kjent at beregningene er gjeldene alle takelement fra Lättelement, inkludert A254.

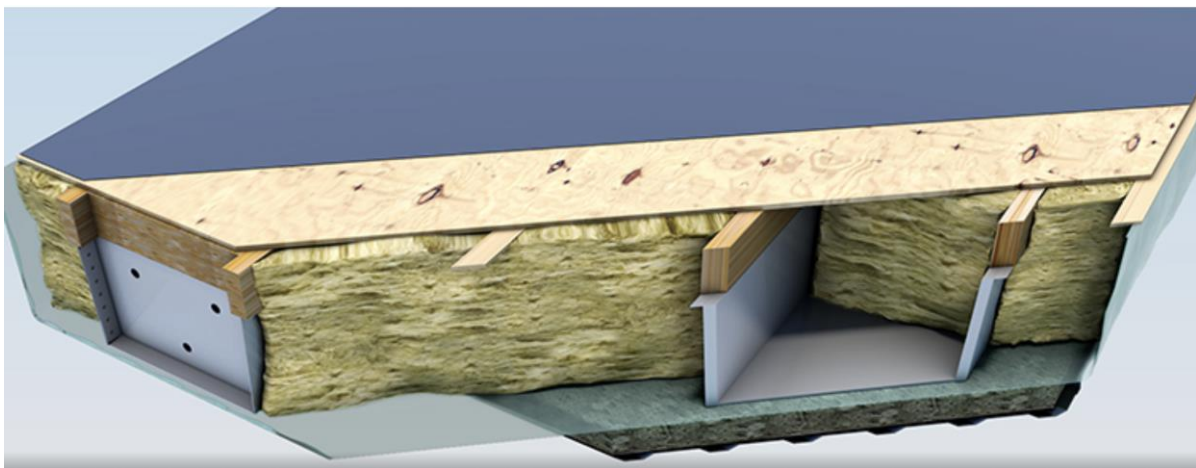
Tabell 14 Miljøpåvirkning CO<sub>2</sub> - TYPE A254

Komponent	Materiale	Kg per m <sup>2</sup> tak	CO <sub>2</sub> e/kg	CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> tak
Taktekking	Icopal Monolight	3,51	3,9	13,689
Øvre flens	Konstruksjonsfiner	7,2	0,45	3,24
Bjelkelag	Masonite, I-bjelke	10	0,026	0,26
Isolering	Glassull	6	1,15	6,9
Nedre flens	Stålplate	3,9	1,132	4,4148
Øvrig	Lim og list	0,32	5	1,6
<b>Totalsum</b>		30,93		<b>30 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup></b>
<b>Totalsum for hele taket</b>	672 m <sup>2</sup>			<b>20,1 tonn CO<sub>2</sub>e</b>

## 4.2 Lett-Tak Systemer AS

Lett-Tak Systemer AS (heretter navngitt med Lett-Tak) er en bedrift basert i Larvik, stiftet i 1980. Lett-Tak produserer takkonstruksjoner på bestilling både for skrå og flate tak, og skreddersyr etter kundens ønske. Måten de gjør dette på er å prefabrikere takelementer/-moduler med bærende konstruksjon av trevirke og varmforsinket tynnprofiler i stål, som vist i Figur 29. Dette gjør at Lett-Tak skiller seg ut fra de fleste konkurrerende løsninger.

Taksystemet fra Lett-Tak har teknisk godkjenning fra SINTEF (Vedlegg 6) i henhold til TEK10 og DOK, og kan benyttes i byggverk med brannklasse 1-3 («Lett-Tak Systemer AS», 2020).



Figur 29 Eksempel på tverrsnitt av Lett-Tak element («Lett-Tak Systemer AS», 2020)

### 4.2.1 Materialer

Lett-Tak leverer komplett takelement, som er sammensatt av syv hovedkomponenter; takbelegg, bærende undertak, isolasjon, trekker, tynnprofil i stål, diffusjonssperre og brannisolasjon. Elementene kommer med himling i form av stålplater, eller kun stålskinner og brannisolasjon for nedlekting. Elementene har lav egenvekt, god bæreevne og kan leveres for opptil 18 meter spenn, brannklassifisering REI 90 og U-verdi på 0,08 W/m<sup>2</sup>K. Standardbredde er 2400 mm («Lett-Tak Systemer AS», 2020).

### **Tekking**

Takbelegget Lett-Tak benytter er produsert av Protan i Norge, og har egenskaper som tilfredsstillende brannklassifisering for tekking i Norge; B<sub>ROOF</sub>(t2). Det kan benyttes som øverste tekking og kan leveres i forskjellige farger. Derfor er belegget heller ikke avhengig av å bli dekket til, slik et undertaksbelegg vanligvis må. Det er diffusjonstett og har en polyesterstamme med innslag av PVC, som gjør det mykt i alle temperaturer, og godt tilpasset det nordiske klimaet. Belegget sveises med varmluft, som anses som tryggere og mer miljøvennlig enn åpen flamme («Protan SE, shop», u.å.).

### **Kryssfinerplate og trerekker**

Taksystemet fra Lett-Tak benytter konstruksjonsfiner i gran fra Mätsa Wood som bærende undertak. Denne er festet i de interne trerekkene, samt i omkringliggende element. Dette danner en kontinuerlig skive over hele takflaten, og gir systemet egenskaper som en stiv skive («Lett-Tak Systemer AS», 2020, d. Teknisk beskrivelse). Dette sammen med den lave vekten og duktiliteten stålet har, gjør at systemet har fordelaktige kvaliteter mot seismiske laster. Ved eventuelle branntilløp på undersiden, vil kryssfinerplaten på oversiden holdes intakt med beskyttelse fra steinullen, og opprettholde bæreevne egenskapene som stiv skive i det aktuelle tidsrommet. Kryssfinerplaten fungerer også som øvre flens i bæresystemet og gir godt og solid underlag for takbelegget. Kryssfinerplaten og trerekkene er også med på å bryte kuldebroen og lydtransmisjon som kan oppstå via stålprofilene («Lett-Tak Systemer AS», 2020).

### **Stålprofil**

Stålprofilene Lett-Tak benytter har en «U»-form, som gir konstruksjonen lav egenvekt samtidig som det har høy bæreevne, og mulighet for å ta lange spenn. Stålprofilene produseres av RUUKKI i Malmö, Sverige, og består av varmforsinket tynnprofil i stål. Profilene leveres i forskjellig tykkelse og høyde avhengig av dimensjon og bæreevne elementene skal ha («Lett-Tak Systemer AS», 2020).

### **Mineralull**

Alle hulrom i elementene fylles med steinull fra Rockwool, både inne i og mellom stålkassetene. Tykkelsen på dette sjiktet avhenger av tykkelsen på elementet, krav til u-verdi og brann. Steinullen har en varmekonduktivitet på 0,037 W/mK, og brannklassifisering A1 («Lett-Tak Systemer AS», 2020).

### **Plastfolie**

Elementene leveres med diffusjonssperre i form av plastfolie i underkant av stålkassetene. Folien strekker seg opp på siden av elementene, og limes mot neste element for å oppnå et kontinuerlig tettesjikt. Folien har en tykkelse på 0,2mm og har gode tetteegenskaper («Lett-Tak Systemer AS», 2020).

### **Brannisolasjon**

For å imøtekomme brannkrav må en brannisolasjon benyttes i underkant av elementet. Dette er for å beskytte de bærende stålprofilene mot varme. Tykkelsen på brannisolasjonen avhenger av kravet («Lett-Tak Systemer AS», 2020).

### 4.2.2 Tilbud

Tilbudet fra Lett-Tak inneholder komplett takkonstruksjon inkludert montering av Lett-Taks egne montører, se Tabell 15. Leveransen er på 675 m<sup>2</sup> av elementtype 21. Det er verdt å merke seg at dette kun er et tilbud, altså er det kun gjort et estimat på pris og oppbygningen av element. Se Vedlegg 7 for snittegning av elementet.

Tabell 15 Tilbud Lett-Tak

<b>Type 21 med 48x121mm trerekker</b>		
<b>Leveranse</b>	<b>Verdier</b>	<b>Merknad</b>
Areal	675 m <sup>2</sup>	
Byggetid	Minst tre dager	Avhengig av alle opplegg er klare
Maks tillatt spennvidde	8,5 m	Kan klare lengre spenn, med noen forsterkninger, se Vedlegg 13, Epost 3
U-verdi	0,13 W/m <sup>2</sup> K	
Brannmotstand	REI 60	
Tykkelse element	398 mm	Takbelegg – brannisolasjon Tykkelse under opplegg kan komme i konflikt med innvendig takhøyde
Transport	645 km	Estimert til 6 lastebiler
<b>Elementbeskrivelse</b>	<b>Klassifisering</b>	<b>Merknad</b>
<b>Tekking</b>		
Protan SE 1,6 mm, mørk grå	Brannklassifisering: B <sub>ROOF</sub> (T2)	Godkjent som øverste tekking
<b>Elementkjerne</b>		
Kryssfiner 15 mm	Brannklassifisering: D-s2, d0	Konstruksjonsfiner



Stålprofiler Høyde: 210 mm Tykkelse: 1,0 mm	Stålkvalitet: S350GD+Z275MA	
Trerekker 121 mm	Fasthetsklasse C24	
Rockwool Isolasjon 331 mm	Brannklassifisering: A1  Varmekonduktivitet: 0,037 W/mK	
BACA diffusjonssperre 0,2 mm	Polyetylen (PE)	
<b>Himling</b>		
Stålskinner c/c 600 mm		Holder på plass isolasjon i himling, og gi godt spikerslag/skruefeste for himling
Rockwool Tungplate isolasjon 50 mm m/duk	Brannklassifisering: A1  Varmekonduktivitet: 0,037 W/mK	Steinull med høy densitet, 90 kg/m <sup>3</sup> .  Duk hindrer dryss.

Elementene er dimensjonert for lastene nevnt i Tabell 16.

Tabell 16 Laster Lett-Tak er dimensjonert for

Laster	Verdi	Merknader
Egenlast	0,86 kN/m <sup>2</sup>	Inkluderer skifertekking
Snølast på mark	3,0 kN/m <sup>2</sup>	Ikke beregnet opphopningslaster
Opphengslast	0,3 kN/m <sup>2</sup>	
Vindkasthastighetstrykk	1,58 kN/m <sup>2</sup>	

Krav til maksimal nedbøyning på elementet er L/300.

Konstruksjonen har ingen store spenn, lengste spenn er på litt over syv meter. Lett-Tak har derfor besluttet at de kan gjøre besparelser ved å kutte ned på lim mellom stålprofilene og trerekkene. Vanligvis benytter de både skruer og lim, men grunnet forholdsvis korte spenn og ingen store laster, kan de her gjøre besparelser ved å kun benytte skruer (*Ref. telefonsamtale med prosjektingeniør Gitte Manvik, Lett-Tak 25.03.20*).

### 4.2.3 Montasje

Elementene blir transportert med lastebil, og er avhengig av kran for å bli losset, og løftet opp på riktig plass. Hull i gavlvegg på stålprofilene benyttes som festepunkter for kran.

Hvert element er merket, som sammen med monteringsanvisning forteller hvor det aktuelle elementet skal plasseres.

Innfesting av element i opplegg skrus gjennom nedre fals i enden av stålprofilen, se Figur 30. I tillegg skrues finerplatene sammen, for å oppnå stiv skive. Dette skjer på kortsiden ved hjelp av en kryssfinerlask som skrues fast i begge elementene, og på langsiden ved å skru finerplatene direkte sammen, se Figur 31.



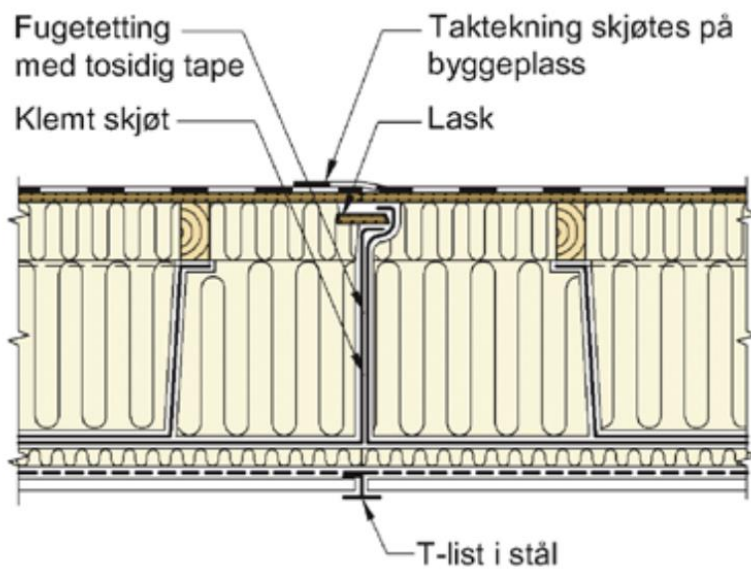
Figur 30 Innfesting mot bæresystem («Lett tak montasjefilm - YouTube», 2013)



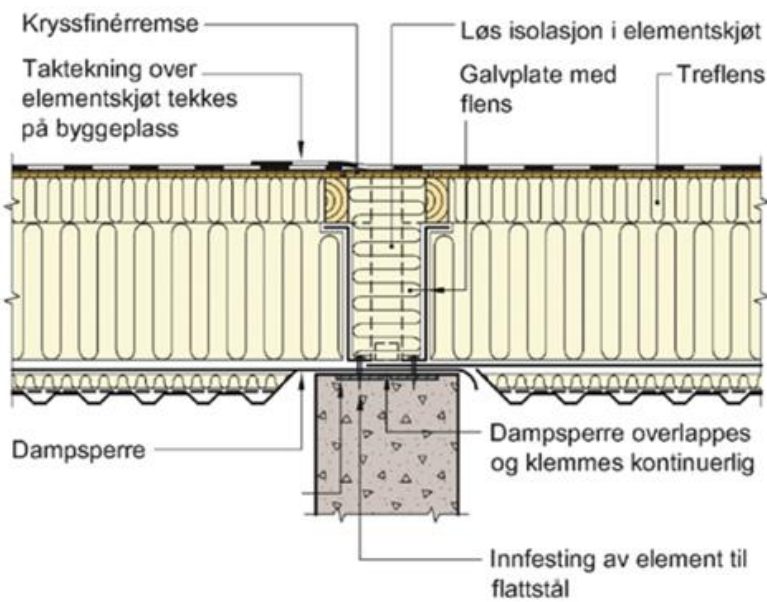
Figur 31 Festing av kryssfinerplater («Lett tak montasjefilm - YouTube», 2013)

### **Elementskjøt**

På langsiden presses elementene sammen ved hjelp av jekketaljer. Her er viktig å kontrollere at tape-skjøten mellom diffusjonssperre får godt feste. Kryssfinerplatene skrues så sammen slik som Figur 32 illustrerer, og til slutt sveises takbelegget sammen over skjøten, med en enkel sveis. Skjøter på kortsiden (Figur 33) av elementene er litt bredere enn på langsiden, eksempelvis mønet. Dette krever også at man legger i isolasjon før kryssfinerplatene skrues sammen, og at diffusjonssperren overlapper og klemmes mellom elementet og opplageret («Lett tak montasjefilm - YouTube», 2013).



Figur 32 Eksempel elementskjõt langsida Lett-Tak (SINTEF, 2017)



Figur 33 Eksempel elementskjõt kortsida Lett-Tak (SINTEF, 2017)

#### 4.2.4 Pris

Prisen Lett-Tak har gitt i tilbudet inneholder komplett tak med montering av Lett-Taks egne spesialiserte montører, se Tabell 17.

Tabell 17 Prisoversikt Lett-Tak

Pris	Verdi	Merknad
Komplett tak av elementer ink. montering av Lett-Taks egne montører	0,6	Uten vintertillegg
<b>Tilleggs kostnader</b>		
Vintertillegg på montering med Lett-Taks montører (15.10 – 01.04)	25 kr pr m <sup>2</sup>	16 875 kr totalt for hele takflaten, forutsatt at monteringen skjer inne gitt tidsrom.

For komplett pristilbud se Vedlegg 15.

#### 4.2.5 Helse, miljø og sikkerhet (HMS)

##### Montering

Montering av takelement innebærer flere typer høyrisiko arbeid. Risikofaktorene her er fall fra høyde, klemfare ved kraning og plassering av element som beskrevet i kapittel 2.5.1.

Elementene monteres av Lett-Taks egne spesialiserte montører, som har god erfaring og kunnskap på montering av denne typen element. Dette kan redusere risikoen for byggefeil, og for at uønskede situasjoner kan oppstå i forhold til om entreprenøren skulle montert på egen hånd. Selv om montørene har erfaring, kreves det at de innføres i sikkerhetsrutinene på den aktuelle byggeplassen («Lett-Tak Systemer AS», 2020).

### **Produksjon**

Lett-Tak produserer elementene sine innendørs på fabrikk, med varme og tørre omgivelser. Dette hindrer at fukt trenger inn i elementene og materialer under produksjon. Dette er spesielt viktig når man produserer kompakte tak, slik Lett-Taks elementer er. Med bakgrunn i at eventuell fukt ikke kan luftes ut i etterkant. Dette krever også at elementene transporteres og håndteres slik at de ikke utsettes for fukt før de er montert.

Fabrikken har flere produksjonslinjer med nyutviklede automatiserte maskiner for påføring av lim og spikring av stålprofiler. Dette gjør produksjonen mer rasjonell og effektiv, og er med på å redusere risikoen for skade på personell, for eksempel ved redusert bruk av håndholdt spikerpistol.

Produksjonen er underlagt strenge produkt- og produksjonskontroller i henhold til kontrakt med SINTEF Teknisk Godkjenning.

Lett-Tak har utarbeidet en miljøplan for produksjon og montasje (Vedlegg 8). Denne inneholder målsetting, avfallshåndtering, transport og miljøtiltak, med sjekklister og fremgangsmåte («Lett-Tak Systemer AS», 2020).

#### 4.2.6 CO<sub>2</sub>-avtrykk

Beregningene for CO<sub>2</sub>-avtrykk for Type 21 med 48x121, er gjort av Lett-Tak (Tabell 18). Beregningene er utført ved hjelp av beregningsmodell utarbeidet av Lett-Tak (Vedlegg 9). Beregningen omtrentlige og er regnet med fra A1-D (hele livsløpet). Ved å resirkulere materialene i fremtiden sparer man miljøet. Verdiene har bakgrunn i EPD og klimagassregnskap.no.

Tabell 18 Miljøpåvirkning CO<sub>2</sub> – Lett-Tak type 21 med 21x148mm trerekker

Komponent	Materiale	kg per m <sup>2</sup> tak	CO <sub>2</sub> e/k g	CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> tak
Taktekking	Protan SE 1,6 mm	1,9	1,279	2,43
Kryssfiner	Kryssfiner	9,0	0,450	4,05
Trerekker	Konstruksjonsvirke	4,1	0,026	0,11
Bæresystem	Stålprofiler	7,3	1,430	10,44
Isolering	Steinull	9,6	1,045	10,03
Diffusjonssperre	Plastfolie	0,25	0,522	0,13
Brannisolasjon	Steinull	4,5	1,602	7,21
Lim		0,2	5,0	1
<b>TOTAL</b>				<b>35,4 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup></b>
<b>Utslipp for hele takflaten</b>				<b>23,895 Tonn CO<sub>2</sub>e</b>

### **4.3 Plassbygd tak**

Plassbygd tak vil si at bærende konstruksjon og bygging av andre komponenter til taket vil bli utført på byggeplassen. Det er entreprenørens oppgave å bestemme oppbygning og valg av materialer. For å komme frem til en god løsning må vi selv gjøre vurderinger for å komme frem til riktig oppbygning og materialvalg. Ved å benytte precut sperrekonstruksjon, vil byggetiden reduseres betraktelig i forhold til tradisjonelt plassbygd tak. Derfor er det valgt å se nærmere på precut sperrer videre i vurderingen.

#### **4.3.1 Oppbygning og materialer**

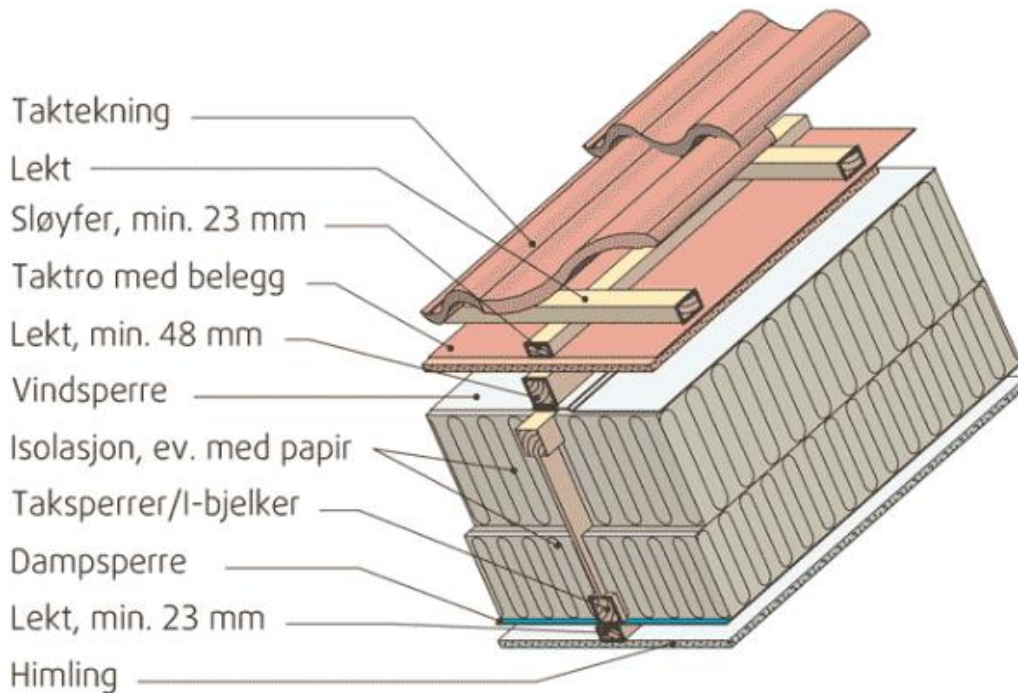
I dette kapitlet vurderes valg av bæresystem, oppbygning og materialer for det plassbygde taket. Materialene og oppbyggingen av taket er en subjektiv vurdering, og det kan være at andre hadde tatt andre valg.

#### **Valg av oppbygning**

For å kunne utnytte full innvendig takhøyde er isolerte skråtak med luftet tekking det naturlige valget, da taket skal plassbygges.

Ålesund ligger i et kystnært og værhardt område som krever en robust oppbygning med god sikkerhet mot fukt. I tillegg er øverste tekking av skifer som også krever et solid og godt undertak. Deler av taket skal ha båndtekking, som er en diffusjonstett tekking (se kapittel 2.3.1) som legges direkte på taktro, og krever dermed lufting i under taktroen. På bakgrunn av dette er det valgt et diffusjonstett bærende undertak med luftespalte i underkant for hele taket, illustrert med Figur 34.





Figur 34 Isolert skråtak med diffusjonstett undertak (SINTEF Byggforsk, 2007)

### **Valg av undertaksbelegg**

Icopal Super-D er valgt og er et diffusjonstett undertaksbelegg. Det består av en polyesterstamme, som gjør den meget sterk og elastisk (se kapittel 2.3.1). Super-D kan ligge eksponert i 2år før øverste tekking må legges (Icopal, 2018).

### **Valg av bærendeundertak**

For skifertekking anbefales det å bruke bærende undertak. Et bærende undertak bestående av plater eller rupanel i et kontinuerlig sjikt, vil oppnå en stiv skive effekt for takflaten, som beskrevet i kapittel 2.4.1. Basert på en totalvurdering falt valget på en vannfast konstruksjonsfiner, som er en sterk og formstabil kryssfinerplate (SINTEF Byggforsk, 2015b).

### **Valg av vindsperre**

Isola Tyvek Soft Extra er en polyetylen belagt vindsperreduk. Denne er både vind- og vanntett og har lav dampmotstand, som gjør den ideell som vindsperre i luftede isolerte tak i værhardt klima (Isola, 2016).

### **Valg av bæresystem**

Valg av sperretak er gjort på bakgrunn av at bygget har en komplisert takform, med forskjellige opplett og vinkler. Det skal også bygges leiligheter i øverste etasje med full utnyttelse av takhøyden.

Det er valgt å se nærmere på et sperretak med precut sperrekonstruksjon av I-bjelker som bæresystem. Sperrer i konstruksjonsvirke og limtre er også et mulig valg, men velger å ikke gå videre med det da det trolig ville gitt henholdsvis større dimensjoner og tyngre konstruksjon.

Precut I-bjelker er kalkulert og dimensjonert av Masonite Beams som er en del av Byggma Group.

### **Sperrer av I-bjelker (Masonite Beams)**

I-bjelkene produseres av Masonite Beams. Flensene er av konstruksjonsvirke og steget er av OSB-plate. Bjelkene er meget formstabile og har en lav varmeledningsevne som er med på å gi lav U-verdi. I-bjelkene gir elementene lav egenvekt samtidig som de opprettholder god bæreevne (Masonite Beams, 2020). Teknisk beskrivelse av Masonite beams se Vedlegg 22.

### **Valg av isolasjon**

For å oppfylle branntekniske krav i henhold til TEK17 må ubrennbare materialer velges som isolasjon i tak. Minstekravet til ubrennbar isolasjon er A2-s1,d0 (Direktoratet for byggkvalitet, 2017, avsn. §11-9, Del 2 Bokstav D), mineralull oppfyller disse kravene med klassifisering A1. Både glass- og steinull har forholdsvis like egenskaper, glassull har noe bedre isolasjonsevne og steinull har noe høyere smeltetemperatur. På bakgrunn av at isolasjonstykkelsen er på 400mm vil begge alternativene være mer enn gode nok i forhold til isolasjonsevne. Derfor vurderes smeltetemperatur som avgjørende faktor ved valg av isolasjon (SINTEF Byggforsk, 2004b).

### **Valg av diffusjonssperre**

Ved valg av diffusjonssperre er det viktig med god vanndampmotstand som oppfyller minstekravet. Diffusjonssperre av polyetylenfolie har god vanndampmotstand og er det mest brukte alternativet. Derfor er dette valgt for det plassbygde taket.

### 4.3.2 Tilbud

Tilbudet er kalkulert og hentet fra Holte SmartKalk, Norsk prisbok, og priser fra ulike lokale byggevareforhandlere, se Tabell 19. Taket er et isolert precut sperretak, med diffusjonstett undertak.

*Tabell 19 Plassbygd tak, med diffusjonstett undertak*

Leveranse	Verdier	Merknad
Areal	675 m <sup>2</sup>	
Maks spennvidde	6,98 m	Se vedlegg 16
U-verdi	0,09 W/m <sup>2</sup> K	Se Vedlegg 11, for resultat fra Rockwools energiprogram
Brannmotstand	REI 60	Gjelder komplett tak, ink. himling og skifertekking, se Vedlegg 23
Total tykkelse	466 mm	Undertaksbelegg – diffusjonssperre  Det ville muligens gitt problemer med gesimshøyden
Transport	11 km	Avstand fra lokal byggevareforhandler
Material	Klassifisering	Merknad
Icopal Super-D	Brannklassifisering: F	
Kryssfiner 15 mm		
Lekter 48x48 mm	Fasthetsklasse C24	Sørge for luftesjikt mellom taktro og isolasjon
Vindsperre (Isola Soft Extra Tyvek)		

Precut Sperrer Komplett sperretakkonstruksjon I-Bjelke HI400	Fasthetsklasse C30	Tilbud fra Masonite Beams er beskrevet i Vedlegg 25.
Mineralull Rockwool 400 mm	Brannklassifisering: A1 Varmekonduktivitet: 0,037 W/mK	Isolere og begrense varmetap fra bygget
Diffusjonssperre 0,2 mm Bacoplast	Polyetylen (PE)	

For komplett tilbud se Vedlegg 24.

Laster konstruksjonen er dimensjonert for er angitt i Tabell 20.

*Tabell 20 Laster for plassbygd tak*

Laster	Verdier	Merknader
Egenlast	0,95 kN/m <sup>2</sup>	Inkludert skifer
Snølast	3 kN/m <sup>2</sup>	
Egenlast himling	0,35 kN/m <sup>2</sup>	
Vind	1,58 kN/m <sup>2</sup>	

### 4.3.1 Montasje/Bygging

Det er gjort en snittberegning av estimert arbeidstid fra PEAB og Holte SmartKalk, Tabell 21.

Tabell 21 Beregnet arbeidstimer plassbygd tak

Kalkulerings form	Beregnet arbeidstimer
Holte SmartKalk	621 timer
Estimering PEAB	Arbeidstimer er beregnet fra PEAB to til tre mann per takflate i ca. en måned det tilsvarer $2,5 * 7,5 * 22 = 412,5$ t pr flate. Totalt $412,5 * 2 = 825$ timer
<b>Totalt beregnet timer</b>	$\frac{621 + 825}{2} = 723$ timer

Det er beregnet en byggetid på totalt 19 dager med to til tre håndverkere per takflate.

### 4.3.2 Pris

På grunn av høyt arbeidspress hos leverandør av precut sperrer, er det kun mottatt et grovestimat av pris. Estimaten inneholdt pris for 24 stk. sperrer med dimensjon og type I-bjelke, for en utvalgt del av taket

Prisen som legges frem i Tabell 22 inneholder komplett tak inkludert arbeidstimer for montasje.

Tabell 22 Prisoversikt plassbygd tak

Pris	Verdi
Komplett tak ink. arbeidstimer	0,67

### 4.3.3 Helse, miljø og sikkerhet (HMS)

Ved å gjøre innkjøp gjennom lokale byggevareforhandlere, støttes nærmiljøet både med tanke på økonomi og arbeidsplasser.

#### Montering

Plassbygd tak er arbeid i høyden som er forbundet med høy risiko. Arbeidet foregår i tillegg på skråtak, som også øker risiko for uønsket hendelse. Det er derfor viktig at HMS rutiner er på plass, og følges nøye. Det skal etableres fallsikring hvor kollektiv sikring er å foretrekke fremfor personlig.

### 4.3.4 CO<sub>2</sub>-avtrykk

Beregningene for CO<sub>2</sub>-utslipp fra det plassbygde taket er hentet fra One Click LCA (Vedlegg 26), og lagt frem i Tabell 23.

Tabell 23 Miljøpåvirkning CO<sub>2</sub> - Plassbygd tak

Komponent	Materiale	CO <sub>2</sub> e per m <sup>2</sup> tak
Taktekking	Icopal Super-D	0,93
Kryssfiner	Konstruksjonsfiner 15 mm	3,4
Lekter	48x48 mm ubh	0,59
Vindsperre	Isola Tyvek Soft Extra, membranduk	0,24
Bæresystem	Masonite, I-bjelke	6,81
Isolering	Rockwool, steinull	14,67
Diffusjonssperre	Bacoplast, plastfolie	0,52
<b>TOTAL</b>		<b>27,16 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup></b>
<b>Utslipp for hele takflaten</b>		<b>18,33 Tonn CO<sub>2</sub>e</b>

#### 4.4 Sammenligning av tak

I denne delen vurderes og sammenlignes tilbudene som er innhentet, ved hjelp av et vektingssystem, forklart i Kapittel 3.3. Vurderingen gir grunnlag for hvilket alternativ som får høyest total score, og anses som det mest tilfredsstillende valget for prosjektet.

Vektpoeng er bestemt ut ifra en subjektiv vurdering med bakgrunn i PEAB sine preferanser. Byggetid og pris anses som de viktigste faktorene for gjennomføring av prosjektet. Grunnen til dette er at byggherre har satt tidsfrister for gjennomføringen. Derfor vektlegges disse sammenlagt til 80 % av total score. De resterende poengene er fordelt likt på de øvrige kriteriene. Vektpoengene er lagt frem i Tabell 24.

Tabell 24 Vektpoeng

Kriterier	Vektpoeng
Pris	40
Byggetid	40
Funksjon	5
HMS	5
CO <sub>2</sub> -avtrykk	5
Fleksibilitet	5
<b>Total score</b>	<b>100</b>

#### 4.4.1 Vurdering av pris

Vurderingen er basert på totalprisen for hvert tilbud. Prisene gjelder for komplett tak klart for lekting og nedføring, for henholdsvis skifertekking og himling. Prisene inkluderer også montering/bygging. Det er ikke tatt høyde for kostnader ved eventuelle uforutsette endringer eller tilpasninger som må gjøres på byggeplass. Eventuelle depositum eller andre tillegg er ikke tatt med i prisvurderingen.

Tilbudene er vurdert opp mot hverandre, og resultatet viser at Lett-Tak har gitt det laveste pristilbudet. Basert på dette får de fullscore på 40 poeng. De andre tilbudene rangeres i forhold til dette, som vist i Tabell 25.

*Pris er gitt som forholdstall, hvor 1 er den høyeste prisen*

*Tabell 25 Vurdering pris*

	Lättelement	Lett-Tak	Plassbygd tak
Pris	1	0,6	0,67
<b>Poeng</b>	<b>24</b>	<b>40</b>	<b>35,82</b>



#### 4.4.2 Vurdering av byggetid

Byggetid betraktes som arbeidstimer for faktisk montasje av tak, og er avhengig av at opplegg for bæresystemet er klare. Dersom et opplegg må endres eller andre uforutsette ting oppstår, medberegnes ikke dette i byggetiden.

Byggherre setter strenge tidsfrister, derfor vektes byggetiden til 40 poeng av totalscore. Entreprenør har stor fordel av at taket/bygget blir tett raskest mulig, slik at man har god tid til å fjerne eventuell byggfukt og videre arbeid kan fortsette. Tilbudet til Lett-Tak er ikke detaljprosjektert og estimert til «minst» tre dager (Tabell 15). Basert på faktisk byggetid for Lättelement på 300 timer, vurderes Lett-Tak til lik byggetid som vist i Tabell 26, da begge er elementer og det er usikkerhet knyttet til Lett-Tak sin estimerte byggetid.

*Tabell 26 Vurdering byggetid*

	<b>Lättelement</b>	<b>Lett-Tak</b>	<b>Plassbygd tak</b>
Byggetid (timer)	300	300	723
<b>Poeng</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>16,60</b>

Bruk av elementkonstruksjon reduserer byggetiden med godt over 50 %, som vist i Tabell 26.

### **4.4.3 Vurdering av funksjon**

Evaluering av funksjon vektet etter kvalitative forhold. Utgangspunktet for vurderingen er tatt fra teoretisk grunnlag Kapittel 2. Produkttegenskapene for de ulike materialene er beskrevet i hoveddel, Kapittel 4.1, 4.2, 4.3, og vurdert opp mot hverandre. Minstekrav for bygget er gitt i premissdokument, Vedlegg 2. Dersom materialet har kvaliteter/egenskaper utover minstekrav vil dette gi grunnlag for høyere vurdering og poengsum.

#### **Tekking/Undertaksbelegg**

Lett-Tak benytter en type takbelegg fra Protan som kan ligge som øverste tekking, noe som betyr at det tåler UV-stråling svært godt. I tillegg har belegget polyesterstamme som er mykgjort med PVC som gjør det fleksibelt og sterkt i alle temperaturer. Takbelegget sveises ved hjelp av varmluft som er den mest miljøvennlige metoden (Protan, u.å.). På grunnlag av dette velger vi å vurdere Lett-Taks tekking til svært tilfredsstillende.

Lättelement og plassbygd tak har begge undertaksbelegg som tilfredsstillende minstekrav. Det plassbygde taket har et belegg med polyesterstamme som kan ligge opp til to år eksponert, til motsetning fra Lättelements belegg med mineralstamme som kun kan ligge to måneder. Fra første monterte element har PEAB to måneder til skifertekkingen bør være ferdig. Hvis dette ikke overholdes, kan takbelegget svekkes, og i ytterste konsekvens miste sine egenskaper. På grunnlag av dette vurderes plassbygd tak til mer tilfredsstillende enn Lättelement på dette kriteriet.

#### **Bærende undertak**

Alle de tre metodene benytter konstruksjonsfiner som bærende undertak. Derfor er alle vurdert likt, med tilfredsstillende egenskaper.

#### **Bæresystem**

Lättelement har et bæresystem bestående av krysslagte I-bjelker med en stålplate i bunn. Denne kombinasjon gjør at elementene kan oppnå lange spenn med slank dimensjon og lav egenvekt. Ved opptak av seismiske laster er det fordelaktig med lav egenvekt på takkonstruksjonen. Lett-Tak har et bæresystem med tynne stålprofiler som også gir lav

egenvekt og mulighet for lange spenn, men for å oppnå brannkrav må egen brannisolasjon benyttes i underkant av elementet. Dette vil gi redusert innvendig takhøyde, og bør tas hensyn til tidlig i en prosjekteringsfase. Ved oppheng av sprinkleranlegg må det benyttes spesielle opphengsanker som kun kan festes direkte i stålprofilene, se Vedlegg 12. mens ved Lättelement kan tradisjonell metode med skruer benyttes direkte i I-bjelkene. Dette kan gi flere begrensinger for hvor festepunktene kan være, da Lett-Tak kun har to stålprofiler(festepunkt) pr. element, til forskjell fra Lättelement som har fire I-bjelker(festepunkt).

Tabell 12, 16 og 20 viser at Lättelement er dimensjonert for større laster enn Lett-Tak og plassbygd tak, til tross for at det er slankere og kan ta opp lengre spenn. Dette betyr at Lättelement har et velutviklet og gjennomtenkt bæresystem.

På grunnlag av at Lättelement har et sterkere og slankere element, lavere egenvekt og mer fleksibilitet i forhold til oppheng, vurderes det til svært tilfredsstillende. På bakgrunn av brannisolasjonen som kan komme i konflikt med innvendig takhøyde/inventar, noe høyere egenvekt og dårligere fleksibilitet i forhold til oppheng av sprinkler, er Lett-Tak vurdert til tilfredsstillende i forhold til minstekrav.

Til forskjell fra Lättelement har ikke plassbygd tak, stålplate i underkant, eller krysslagte I-bjelker. Dette medfører betydelig større dimensjoner på I-bjelkene for å kunne ta opp tilsvarende laster. Til tross for større dimensjoner har plassbygd tak lavere tillatt spennvidde. Økt dimensjonen på I-bjelkene kan skape konflikt med tillatte gesims- og mønehøyder, og må tas i betraktning i prosjekteringsfasen. På bakgrunn av dette settes plassbygd tak til tilfredsstillende.

### **Isolasjon**

Alle de tre metodene benytter isolasjon med en varmekonduktivitet  $\leq 0,039$  W/mK. Alle har dermed en isolasjonsevne som er bedre enn kravet på U-verdi  $0,15$  W/m<sup>2</sup>K. Energikravet gitt i Vedlegg 1. Det benyttes både mineraler av stein og glass i isolasjonen, og disse har brannklassifisering A1 beskrevet i Tabell 6. Valg av mineraler i isolasjonen utgjør en ubetydelig forskjell, og alle har tilfredsstillende kvaliteter.

### Diffusjonssperre

Lett-Tak og plassbygd tak bruker en diffusjonssperre av typen 0,2 mm polyetylenfolie, mens Lättelement bruker galvanisert 0,5 mm stålplate som et diffusjonstett sjikt. På bakgrunn av lite informasjon om diffusjonsgjennomtrengingstall ved diffusjonssjiktet til Lättelement, har vi valgt å ikke skille på de tre alternativene, og vurdere alle til tilfredsstillende i forhold til krav.

### Byggfukt

Elementene produseres i tørt miljø inne på fabrikk og transporteres under kontrollerte forhold. Montering bør skje i oppholdsvær grunnet dårlig tørkeegenskaper på kompakte tak. Derfor bør sveising av tette sjikt skje raskt. Kort byggetid gir raskere tørt bygg.

Til forskjell fra dette vil plassbygd tak være åpent under bygging og dermed være mer utsatt for fukt under byggetid. Lang byggetid vil forlenge tiden fram til tørt bygg. Vi konkluderer med at prefabrikkerte elementer er mer tilfredsstillende enn plassbygd konstruksjon.

### Samlet vurdering funksjon

Vurdering av funksjon er vist i Tabell 27. Lättelement og Lett-Tak oppnår lik poengsum på funksjon, mens plassbygd tak får noe lavere.

*Tabell 27 Vurdering funksjon*

	Lättelement	Lett-Tak	Plassbygd tak
Tekking/Undertaksbelegg	1	3	2
Bærende undertak	1	1	1
Bæresystem	3	1	1
Isolasjon	1	1	1
Diffusjonssperre	1	1	1
Byggfukt	2	2	1
Sum	9	9	7
<b>Poeng</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3,89</b>

#### **4.4.4 Vurdering av HMS**

For å vurdere HMS er det valgt å fokusere på sikkerhet. Sikkerhet ved montering og sikkerhet ved produksjon er to sentrale punkt. Det er svært viktig å ivareta helse og miljø på arbeidsplassen.

##### **Sikkerhet ved montering**

Både arbeid i høyden og elementmontasje er sett på som risikofylt arbeid som beskrevet i Kapittel 2.5.1. Ved plassbygd tak vil arbeid i høyden over lengre tidsperiode øke risikoen for at uønsket hendelse kan oppstå. Montering av store tunge elementer gir kortere arbeidstid i høyden, men kan være forbundet med ulykker knyttet til elementmontasje. Lett-Tak benytter egne montører som har god erfaring med elementmontasje og arbeid i høyden. Dette kan redusere risikoen for uønskede hendelser og byggefeil, men innføring i sikkerhetsbestemmelser for byggeplassen før oppstart er svært viktig. Lättelement tilbyr også montering av egne erfarne montører, men det må trolig påberegnes ekstrakostnader da tilbudet ikke inneholder dette. Ut ifra dette vurderes Lett-Tak til mer tilfredsstillende, mens Lättelement og plassbygd tak vurderes til kun tilfredsstillende.

##### **Sikkerhet ved produksjon**

Ved å flytte produksjon fra høyden på en byggeplass til en fabrikk med trygge omgivelser, reduseres risikoen for uønsket hendelse. Dersom noe av arbeidet i tillegg blir utført av maskiner, reduseres risikoen ytterligere. Ved plassbygd tak gjøres all produksjon på byggeplassen, og vurderes derfor kun til tilfredsstillende. Elementproduksjon derimot vurderes som svært tilfredsstillende da produksjon skjer inne på fabrikk i trygge omgivelser.

##### **Samlet vurdering av HMS**

Vurdering av HMS er vist i Tabell 28. Lättelement og Lett-Tak tilbyr begge elementet som produseres i trygge omgivelser på fabrikk, men på bakgrunn av at Lett-Tak benytter egne montører oppnår de høyere score. Plassbygd tak anses som arbeid med større risiko, og vurderes derfor til noe lavere score.

Tabell 28 Vurdering HMS

	Lättelement	Lett-Tak	Plassbygd tak
Sikkerhet ved montering	1	2	1
Sikkerhet ved produksjon	3	3	1
Sum	4	5	2
<b>Poeng</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>2</b>

#### 4.4.5 Vurdering av CO<sub>2</sub>-avtrykk

CO<sub>2</sub>-avtrykket til hvert alternativ er vurdert ut ifra CO<sub>2</sub>-utslippet ved produksjon, bruk og resirkulering av produktet. I tillegg har avstanden fra leverandør til byggeplass og antall lastebiler brukt i leveransen, blitt vurdert. Dette gir en samlet vurdering for CO<sub>2</sub>-avtrykk vist i Tabell 29.

#### CO<sub>2</sub>-utslipp

Vurderingen av utslipp baserer seg på beregninger gjort av Lättelement og Lett-Tak, henholdsvis Tabell 14 og 18, mens One Click LCA er benyttet for plassbygd tak (Tabell 23). Bakgrunnen og kilde for beregningene er ikke tatt hensyn til i vurderingen.

Resultatene blir vurdert med poeng fra 1 til 3. Resultatene fra tabellene 14, 18 og 23, viser at plassbygd tak har det laveste CO<sub>2</sub>-avtrykket, og får dermed 3 poeng.

#### Transport

Både Lättelement og Lett-Tak har lang transportvei. Det er kun Lättelement som har gjennomført detaljprosjektering, og som vet med stor sikkerhet antall lastebiler de vil benytte. Lett-Tak har noe tykkere elementer, og kan derfor ha behov for flere lastebiler grunnen større plassbehov. På bakgrunn av noe kortere transportvei for Lett-Tak, men behov for flere lastebiler, vurderes begge alternativene likt med tilfredsstillende resultat.

Når det gjelder plassbygd tak benyttes lokal byggevaregrossist som leverandør, hvor materialer bestilles etter behov. På tross av at antallet leveranser øker betraktelig, anses dette som mer tilfredsstillende. Transportveien er kortere, og hver leveranse også kan utnyttes til transport av materialer til andre deler av bygget.

Tabell 29 Vurdering CO<sub>2</sub>-avtrykk

	Lättelement	Lett-Tak	Plassbygd tak
CO <sub>2</sub> -utslipp for hele takflaten	2	1	3
Transport	1	1	2
Sum	3	2	5
Poeng	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>

#### 4.4.6 Vurdering av fleksibilitet

Fleksibilitet er friheten man har til å gjøre endringer under bygging/montasje og etter at taket er tatt i bruk. Eksempler på dette kan være at et opplegg har blitt flyttet før montasje, eller at man ønsker å legge til et nytt takvindu ti år frem i tid.

Plassbygd tak anses som svært fleksibelt før og under bygging. Ved bruk av precut sperrer reduseres denne fleksibiliteten da dette er avhengig av detaljprosjektering i forkant.

Konstruksjon av element krever mer nøyaktig detaljprosjektering i forkant. Eventuelle endringer må tas opp med leverandør før prosjekteringen har begynt. For endringer som blir tatt opp etter prosjekteringen har startet, eller senere i prosessen, kan det påløpe store kostnader. Elementene er satt sammen som et komplett system, der hver del har en egen rolle. Dersom endringer blir gjort under montasje kan dette påvirke samspillet mellom elementene, og er derfor en mer krevende prosess.

Som vist i Tabell 30, vurderes plassbygd tak som mer fleksibelt og dermed mer tilfredsstillende enn element.

*Tabell 30 Vurdering fleksibilitet*

	Lättelement	Lett-Tak	Plassbygd tak
Fleksibilitet	1	1	2
Poeng	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>5</b>

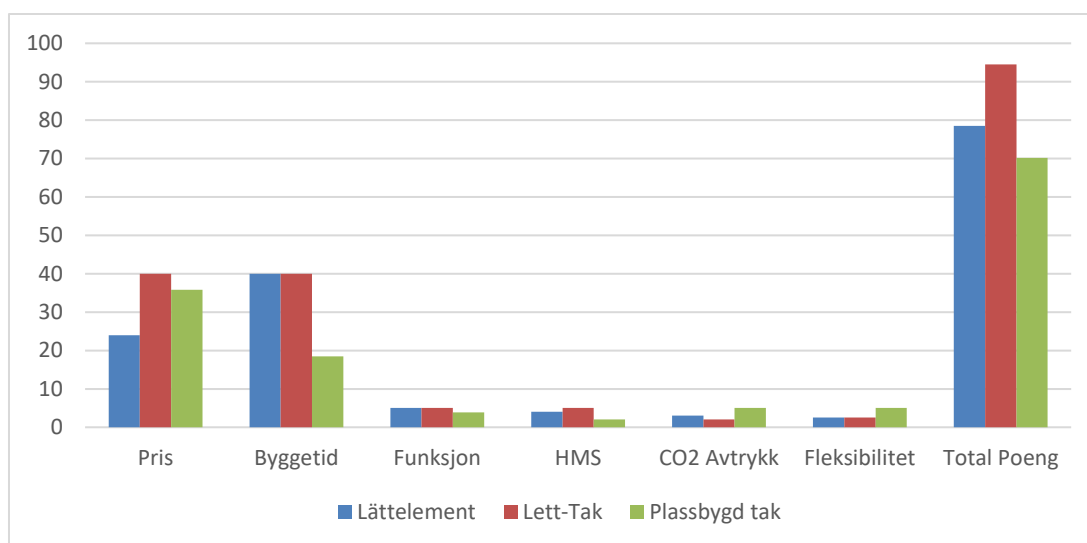


#### 4.4.7 Samlet total vurdering

Etter en samlet vurdering av alle kriteriene, vist i Tabell 31, kommer Lett-Tak best ut med en totalscore på 94,5 poeng av 100 mulige. Få poeng skiller Lett-Tak og Lättelement, og pris ser ut til å være den avgjørende faktoren. Plassbygd tak kommer dårligst ut, men det skiller få poeng opp til Lättelement. Byggetid og funksjon er de faktorene som trekker ned poengsummen. Figur 35 viser en grafisk fremstilling av resultatet.

Tabell 31 Samlet totalvurdering

	Lättelement	Lett-Tak	Plassbygd tak
Pris	24	40	35,82
Byggetid	40	40	18,46
Funksjon	5	5	3,89
HMS	4	5	2
CO <sub>2</sub> -avtrykk	3	2	5
Fleksibilitet	2,5	2,5	5
<b>Totalt poeng</b>	<b>78,5</b>	<b>94,5</b>	<b>70,17</b>



Figur 35 Diagram over poeng i vurderingen

#### 4.4.8 Alternative vurderinger

Her vurderes det om resultatet ville blitt forskjellig om vektingen endres. Dette gir en føring om det er kriterier som er mer utslagsgivende enn andre.

##### 4.4.8.1 Vurdering uten funksjon

PEAB ønsker en alternativ vurdering der pris, byggetid, HMS og fleksibilitet var de sentrale kriteriene. Funksjon er sett på som et ja/nei spørsmål, det vil si at dersom det oppfyller minstekrav er det godt nok og funksjon vektet derfor ikke. CO<sub>2</sub>-avtrykk er heller ikke tatt med i denne vurderingen (Tabell 32).

Tabell 32 Vektingstall alternativ vurdering uten funksjon

Kriterier	Vektpoeng
Pris	40
Byggetid	40
HMS	10
Fleksibilitet	10

Tabell 33 Resultat alternativ vurdering uten funksjon

	Lättelement	Lett-Tak	Plassbygd tak
Pris	24	40	35,82
Byggetid	40	40	18,46
HMS	8	10	4
Fleksibilitet	5	5	10
<b>Totalt poeng</b>	<b>77</b>	<b>95</b>	<b>68,28</b>

Rangeringen for vurdering hvor funksjon er utelatt (Tabell 33), forblir uendret i forhold til den samlede vurderingen i Tabell 31. Dette viser at funksjon ikke har noen påvirkning på resultatet.

#### 4.4.8.2 Vurdering uten pris

Den markante prisforskjellen mellom Lättelement og de øvrige løsningene, gjør det interessant å se på en vurdering der pris er utelatt, i den hensikt å kartlegge om det er en avgjørende faktor for resultatet.

I dette alternativet benyttes derfor samme vektingstall som i Tabell 24, og pris er ikke tatt med i vurderingen (Tabell 34). Dette fører til at høyeste maksimalscore er 60 poeng.

*Tabell 34 Vekttall alternativ vurdering uten pris*

Kriterier	Vektpoeng
Byggetid	40
Funksjon	5
HMS	5
CO <sub>2</sub> -avtrykk	5
Fleksibilitet	5

*Tabell 35 Resultat alternativ vurdering uten pris*

	Lättelement	Lett-Tak	Plassbygd tak
Byggetid	40	40	18,46
Funksjon	5	5	3,89
HMS	4	5	2
CO <sub>2</sub> -avtrykk	3	2	5
Fleksibilitet	2,5	2,5	5
<b>Totalt poeng</b>	<b>54,5</b>	<b>54,5</b>	<b>34,35</b>

Tabell 35 viser at pris er en avgjørende faktor for resultatet, og tilbudene fra Lättelement og Lett-Tak er likeverdige. Plassbygd tak får fortsatt lavere poengscore enn de andre.

## 5 DISKUSJON

I dette kapittelet diskuteres oppgavens vurderinger og resultater, og implikasjoner av disse. Dette inkluderer PEAB sin valg og metoder, samt våre egne valg og vurderinger i oppgaven.

### 5.1 *Diskusjon resultat*

Basert på totalvurderingen i Kapittel 4.4.7 kommer plassbygd tak ut med den laveste poengscoren. Lett-Tak derimot kommer med god margin ut med det beste resultatet. Prisen ser ut til å være den avgjørende faktoren, da de har en prisreduksjon på 40 % i forhold til Lättelement. Dersom pris utelukkes viser Tabell 34 at Lättelement og Lett-Tak oppnår lik totalscore. Både i den samlede og de alternative vurderingene, oppnår Lett-Tak best rangering. Dette styrker resultatet i oppgaven.

Resultatet er basert på en subjektiv vurdering av oss og det er dermed knyttet usikkerhet til resultatet. Om en annen part hadde betraktet samme vurderingsgrunnlag kan det tenkes at deres vektingsstall og metode hadde gitt et annet resultat. Om pris utelukkes og kun oppbygning og funksjon vurderes, kan det tenkes at Lättelement er en bedre løsning med tanke på deres slanke element med god bæreevne.

Videre diskuteres delvurderinger og kriteriene for hovedresultatet.

#### 5.1.1 Pris

Alle tilbudene for de ulike takløsningene er basert på estimat uten detaljprosjektering. Dette i tillegg til takets kompleksitet, gjør at det kan knyttes stor usikkerhet til prisene.

Prisen Lättelement har gitt antas å være noe høy, da leverandøren ønsker en sikkerhetsmargin slik at de ikke går i tap. Siden Lättelement ligger i et annet land, kan det tenkes at avstand, andre krav og forskrifter også være en forhøyende faktorer.

Tilbudet fra Lett-Tak ble etterspurt etter at PEAB besluttet å benytte Lättelement som leverandør. Lett-Tak var da klar over at pristilbudet skulle brukes i en bacheloroppgave, og ikke skulle realiseres, og dermed bli bindende i den forstand. På bakgrunn av dette kan det

tenkes at Lett-Tak har gitt en noe lav pris til fordel for egen gevinst, og/eller på bakgrunn av lite nøyaktig prisestimering. Det kan tenkes at pristilbudet ble nedprioritert fremfor andre reelle byggeprosjekt, og det derfor kan knyttes større usikkerhet til dette tilbudet.

Ved estimering av det plassbygde taket har usikkerheten blitt tatt hensyn til ved å legge inn en usikkerhetsfaktor. Tilbudet kan likevel være noe lavt priset, grunnet kompleksiteten til taket. Leverandørene av precut sperrer hadde heller ikke kapasitet til å beregne sperrene. Derfor ble det ble kun levert et grovestimat av 24 stk. sperrer på en utvalgt del av taket. Ved en reell beregning kan det tenkes at man kom frem til en annen pris, og dimensjon. Det kan også tenkes at ulike dimensjoner for sperrene kunne vært benyttet for ulike deler av taket, blant annet de delene som har annen takvinkel og/eller mindre spenn. Dette kunne ført til en annen pris.

### **5.1.2 Byggetid**

Monteringen er estimert av PEAB til ca. 300 timer med fire mann, gitt at alle opplegg er klare og det kan monteres fortløpende. PEAB monterer selv og kan derfor i større grad styre og eventuelt dele opp montasjen. Hvis montører fra Lättelement hadde blitt bruk, ville de vært avhengig i at det kunne settes opp fortløpende. I tilbudet fra Lett-Tak (Tabell 15) kom det frem at byggetiden var estimert til «minst tre dager». På bakgrunn av at tilbudet ikke er detaljprosjektert, og unøyaktig presisering av byggetid, har vi valgt å likestille byggetiden til begge elementløsningene. Det kan knyttes usikkerhet til denne subjektive vurderingen, og den reelle byggetiden kan være forskjellig. Elementmontasje er avhengig av oppholdsvær og lite vind. Dårlig vær kan derfor utsette byggetiden ytterligere.

Byggetiden til det plassbygde taket er basert på et grovestimat fra PEAB og generelle data fra Holte SmartKalk. På bakgrunn av takets kompleksitet kan det være at den estimerte byggetiden har stor usikkerhet i forhold til den reelle byggetiden.

### 5.1.3 Funksjon

Stålplaten i underkant av elementet til Lättelement har mye å si i forhold til bæreevne. Samtidig er det kjent at styrken til stål reduseres når det utsettes for varme/brann. Lättelement selv mener at bæresystemet med unntak av stålplaten har tilfredsstillende bæreevne ved en eventuell brann. De regner med at stålplaten kun har en beskyttende effekt mot direkte flammer. Det kan det tenkes at konstruksjonen vil få for store nedbøyninger uten hjelp fra stålplaten.

Tilbudet fra Lett-Tak inneholder et element med REI 60 brannklassifisering. Kravet er på R 60 (Vedlegg 3), og for å skjule elektriskanlegg har entreprenør planlagt å fore ned 50 mm. Det kan tenkes at ved å benytte et element med REI 30 + 50 mm nedforing, så hadde man opp nådd REI60, og dermed oppfylt kravet. I så fall kunne man oppnådd en konstruksjon som var 20 mm tynnere (Vedlegg 6). I tillegg kan det tenkes at prisen hadde vært noe lavere.

Materialvalg og oppbygging av det plassbygde taket er valgt på bakgrunn av subjektiv vurdering. Det antas derfor at det finnes flere varianter og løsninger på dette. Det plassbygde taket vil bli betydelig tykkere enn de to øvrige løsningene, og det kan tenkes at dette kunne skapt konflikt med gesims- og mønehøyder. Dette ville resultert i store endringer i prosjektet og muligens økte kostnader.

Ved bruk av I-bjelker kan installasjoner som rør og kanaler legges gjennom steget i bjelken, dette gjør at eventuell nedforing kan elimineres. Med store bjelke høyder, kan isolasjonstykkelsen oppnås uten ekstra arbeid med nedforing.

### 5.1.4 HMS

Resultatet i Kapittel 4.4.4 viser at montasje av eksterne montører er medfører lavere risiko for uønsket hendelse. Dette er basert på en subjektiv vurdering og ved en mer nøyaktig undersøkelse kan det vise seg at det å bruke montører som allerede kjenner til byggeplassen faktisk er bedre. Dette fordi interne montører kjenner til byggeplassen og hverandre, med tanke på kommunikasjon, sikkerhetsrutiner og andre viktige forhold.

Det er ikke innhentet mye informasjon om, eller hatt befaring på fabrikk. Vurderingene rundt arbeidsforhold og HMS på produksjonslinjene er derfor basert på antagelser, og kan dermed inneholde feil eller mangler.

### 5.1.5 CO<sub>2</sub>-avtrykk

Utregning av CO<sub>2</sub>-utslipp ved produksjon, er gjort av Lättelement som baserer seg på verdier fra *Klimagassregnskap.no*. Denne nettsiden er under utvikling, og er i skrivende stund ikke tilgjengelig. Dette gjør at bakgrunnen for disse verdiene ikke kan kontrolleres, og om de blant annet tar utgangspunkt i hele livsløpet til produktet. Det kan også tenkes at tallene hadde sett annerledes ut hvis beregningene hadde blitt gjennomført av en uavhengig part.

Beregningseksempelet fra Lättelement er fra 2015, og er for et element med noe annen oppbygning. Elementet er av typen A354 og er tykkere av dimensjon. På bakgrunn av dette kan det tenkes at elementet som inngår i tilbudet har et annet utslippstall.

CO<sub>2</sub>-utslippet ved produksjon fra Lett-Tak er beregnet ut ifra en modell som stemmer med det aktuelle elementet i tilbudet. I denne modellen kommer det også frem hvilke EPD de ulike verdiene er hentet fra, og hvilke stadier av EPD som er benyttet. Modellen er utarbeidet av Lett-Tak selv, og det kan derfor tenkes at tallene hadde sett annerledes ut hvis en uavhengig part hadde gjort beregningene.

Beregningene for det plassbygde taket er gjort ved hjelp av One Click LCA. Verdiene i beregningen kan være hentet fra ukorrekte kilder. Da eksempelvis data for dampsperreren er utløpt på dato, og noen av materialene ikke er identiske. For Masonite I-bjelker, var det kun data for H400, altså I-bjelker med 47 x 47 mm flenser.

Det er ikke beregnet faktisk CO<sub>2</sub>-utslipp ved transport, kun avstand og antall kjøretøy som er benyttet er vurdert.

### 5.1.6 Fleksibilitet

Vurderingene rundt fleksibilitet knyttet til de ulike takløsningene er gjort på antagelser og vurderinger gjort på bakgrunn av beskrivelsene gitt i tilbudene. Det kan tenkes at det plassbygde taket har fått noe høy verdi i og med at det er benyttet precut sperrer. Precut er en form for prefabrikkering og kan derfor gi løsningen redusert fleksibilitet i forhold til tradisjonell plassbygging.

## **5.2 Diskusjon PEAB**

PEAB sitt valg av takløsning baserer seg kun på et mottatt tilbud fra Lättelement. De var også i dialog med Pretre AS som leverer precut sperrer, men grunnet lenger estimert byggetid på plassbygd tak, ble de tidlig utelukket i prosessen og valget falt på Lättelement sin løsning. Det hadde nok vært fordelaktig om PEAB hadde brukt litt lenger tid og ressurser på innhenting av flere tilbud, slik at de hadde fått flere tilbud. Det kan tenkes av PEAB burde lagt ut et anbud for å motta flere tilbud og dermed styrke vurderingsgrunnlaget for valget av takløsning.

## **5.3 Diskusjon metode**

Flere alternative tilbud kunne gitt mer dybde i sammenligningen. Flere aktører innenfor både elementproduksjon og precut sperre produksjon ble forsøkt kontaktet, men de fleste hadde svært lite kapasitet til å hjelpe. På grunnlag av få innhentende tilbud kan det knyttes usikkerhet til om resultatet i oppgaven faktisk er det mest optimale av alle mulige løsninger for taket.

En alternativ metode for innhenting av tilbud kunne vært og utstede et anbud på taket som beskrevet i Kapittel 2.7.2. Det kan tenkes at dette ville resultert i flere tilbud/alternativ, da det fortsatt er mange aktører som ikke er kontaktet og har kunne levert et tilbud. Samtidig ville alle hatt likt konkurransegrunnlag og forholde seg til.

## **5.4 Forslag til videre arbeid**

Forslag til videre arbeid er å kontrollere gesims- og mønehøyder ved de ulike takløsningene. Dette kunne gitt andre løsninger, eksempelvis ved å angi en maksimal tillatt tykkelse i konkurransegrunnlag.

Et annet interessant aspekt å jobbe videre med er materialvalg og funksjoner for takform og tekking. Det er valgt å bygge et fordrøyningsanlegg under bygget for å hindre overvann i å oversvømme kommunale avløpsanlegg. Et spennende alternativ er sett på muligheten ved å bygge et «sedumtak». Dette er en type grønt tak med gode fordrøyningssegenskaper. Dette avhenger av at byggherre og myndighetene har større miljøambisjoner.

Dette prosjektet har ingen energiambisjoner ut over TEK17. Hvis dette ikke hadde vært tilfellet, hadde det vært interessant å sett på takløsninger for bygg med nullutslipp. Bærekraft



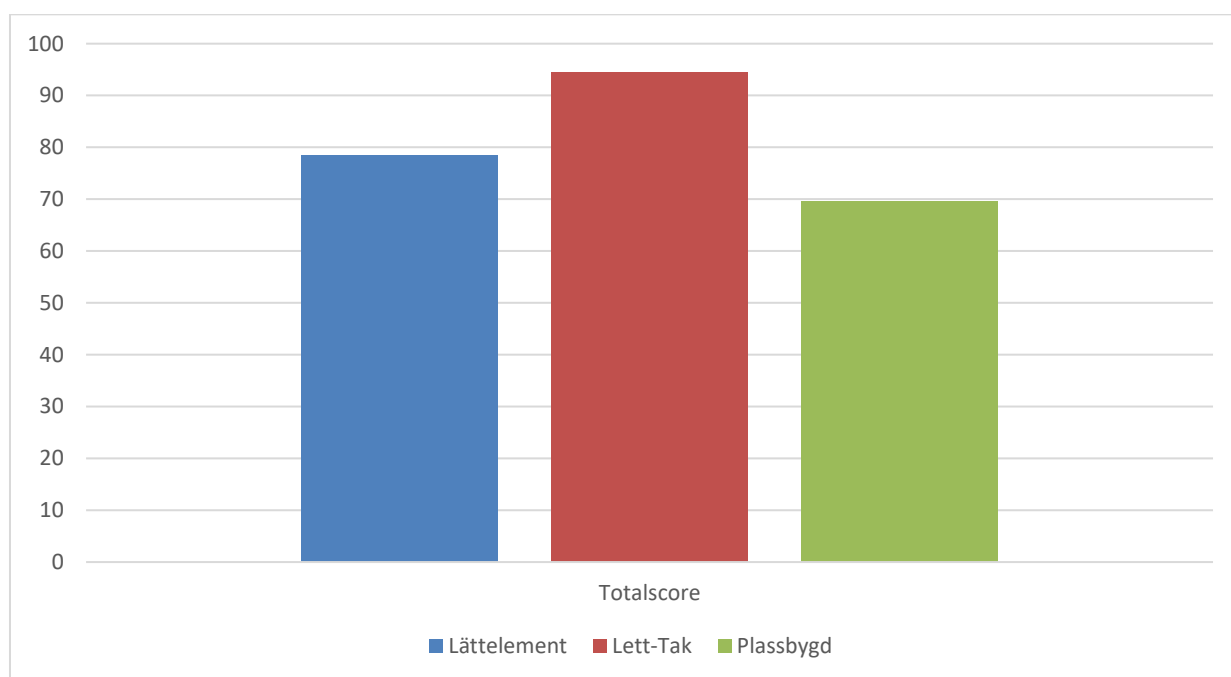
er et stort tema og det hadde vært interessant og gått dypere inn i de diskusjonene, og funnet enda mer miljøvennlige løsninger for taket.

## 6 KONKLUSJON

Resultatene i Figur 36 viser at plassbygd tak får lavest totalscore. Vi konkluderer derfor med at plassbygd tak vil være uaktuelt for dette prosjektet, og at PEAB gjorde riktig i å velge dette bort tidlig i prosessen.

En totalvurdering viser at ved å velge Lett-Tak, ville PEAB fått en kostnadsreduksjon på 40 %. I tillegg ville de gjort ytterligere besparelser ved å bruke eksterne montører fra Lett-Tak, da PEABs egne tømrere kunne vært satt til andre oppgaver.

Ut ifra de vurderingene som er gjort i oppgaven konkluderes det med at Lett -Tak er den mest optimale takløsningen for Utstillingsplassen.



Figur 36 Totalscore

## REFERANSER

- Arbeidstilsynet. (u.å.). Arbeidstilsynet, HMS risikofaktorer. Hentet 6. mai 2020, fra <https://www.arbeidstilsynet.no/hms/hms-i-bygg-og-anlegg/>
- Arbeidstilsynet, HMS. (u.å.). Hentet 6. mai 2020, fra <https://www.arbeidstilsynet.no/hms/>
- Christensen, N., & Almar-Næss, A. (2019). Stål. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <http://snl.no/st%C3%A5l>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2010). Direktoratet for byggkvalitet, SAK10. Hentet 6. mai 2020, fra <https://dibk.no/byggeregler/sak/>
- Direktoratet for byggkvalitet. (2017). Direktoratet for byggkvalitet, TEK17. Hentet 13. februar 2020, fra <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/1/1-1/>
- Edwardsen, K. I., & Ramstad, T. Ø. (2018). *Trehus, Håndbok 5* (4.opplag). Oslo: Sintef Akademisk Forlag.
- EPD Norge. (2020). Hentet 5. mai 2020, fra EPD Norge website: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>
- FN-sambandet, CO2-utslipp. (2017). Hentet 6. mai 2020, fra <https://www.fn.no/Statistikk/CO2-utslipp>
- Holte.no. (u.å.). SmartKalk kalkulasjonssystem—For å kalkulere jobber i bygg og anlegg. Hentet 27. april 2020, fra Holte website: <https://holte.no/produkt/smartkalk-kalkulasjonssystem/>
- Icopal. (2018). Super D underlagsbelegg, Icopal. Hentet 9. mai 2020, fra <http://www.icopal.no/Produkter/Undertak/Super D.aspx>
- Icopal.se. (u.å.-a). Inbyggda tätskikt för skydd av betong, trä och mycket mer—Icopal AB. Hentet 15. mai 2020, fra [http://www.icopal.se/Produkter/Ytterbjalklag\\_broar/Sortiment\\_inbyggda\\_tatskikt.aspx](http://www.icopal.se/Produkter/Ytterbjalklag_broar/Sortiment_inbyggda_tatskikt.aspx)
- Icopal.se. (u.å.-b). Micoral—Byggpapp för skyddande skikt under takpapp—Icopal. Hentet 15. mai 2020, fra [http://www.icopal.se/Produkter/Tak/Underlagsprodukter/Sortiment\\_underlagsprodukter/Micoral.aspx](http://www.icopal.se/Produkter/Tak/Underlagsprodukter/Sortiment_underlagsprodukter/Micoral.aspx)
- Isola. (2016). Isola Tyvek® Soft Xtra » Isola AS. Hentet 9. mai 2020, fra <https://www.isola.no/produkter/tak/vindsperre/isola-tyvek-soft-xtra>
- Karlsen, T. (2020). miljøsertifisering—Bygg og anlegg. I *Store norske leksikon*. Hentet fra [http://snl.no/milj%C3%B8sertifisering\\_-\\_bygg\\_og\\_anlegg](http://snl.no/milj%C3%B8sertifisering_-_bygg_og_anlegg)
- Kirkhus, A. (2017). *Innføring i byggereglene TEK17* (7. utg.). Oslo: SINTEF akademisk forl.

Knut Grønvold. (2019). Bygg- og anleggsteknikk—Tre som byggemateriale—NDLA. Hentet 18. februar 2020, fra Ndl.no website: <https://ndla.no/subjects/subject:11/topic:1:183108/topic:1:158644/resource:1:169558>

Lett tak montasjefilm—YouTube. (2013, august 23). Hentet 2. april 2020, fra YouTube website: <https://www.youtube.com/watch?v=iSyuDSOMgXY>

Lett-Tak Systemer AS. (2020). Hentet 25. mars 2020, fra Lett-Tak Systemer AS website: <https://lett-tak.no/>

Lohne, O. (2018). Duktilitet. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <http://snl.no/duktilitet>

Lovdata. (2008, juni 27). Lovdata [Nettsted for lovverk i norge]. Hentet 13. februar 2020, fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>

Lättelement.se. (2015, juni 17). Lättelement.se. Hentet 7. mai 2020, fra Lättelement website: <https://www.lattelement.se/>

Masonite Beams. (2020). Masonite—Masonite.no. Hentet 7. mai 2020, fra <https://www.masonite.no/>

Microsoft Office Excel. (2019). Microsoft Office Excel. I *Wikipedia*. Hentet fra [https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Microsoft\\_Office\\_Excel&oldid=19994229](https://no.wikipedia.org/w/index.php?title=Microsoft_Office_Excel&oldid=19994229)

Miljøverndepartementet. (2011, februar 22). Reguleringsplan [BrosjyreVeiledning]. Hentet 18. februar 2020, fra Regjeringen.no website: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/reguleringsplanveileder/id613879/>

Norsk Prisbok. (u.å.). Norsk prisbok. Hentet 27. april 2020, fra <https://www.norskprisbok.no/WhatIsNP.aspx>

Olerud, K., & Lahn, B. (2020). CO2-ekvivalenter. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <http://snl.no/CO2-ekvivalenter>

One Click LCA. (2018). World's fastest Building Life Cycle Assessment software—One Click LCA. Hentet 27. april 2020, fra One Click LCA® software website: <https://www.oneclicklca.com/>

Optimera. (2018, mai 11). Bygg bedre og raskere med precut. Hentet 24. februar 2020, fra Optimera website: <https://www.optimera.no/byggsystemer/produksjon/precut/>

Per Kr. Larsen. (2004). *Konstruksjonsteknikk: Laster og bæresystemer* (s. 173). Trondheim: Tapir akademisk forl.

Protan. (u.å.). Protan SE. Hentet 12. mai 2020, fra <https://www.protan.no/tak-og-membraner/produkter/protan-se/>

Protan SE, shop. (u.å.). Hentet 27. april 2020, fra [https://shop.protan.no/tak-og-membraner/eksponerte-tak/mekanisk-festet/protan-se-ce7a010a/ruller-til-detaljer/?entryCode=PROTAN-SE-16-MORK-GRA-F94-020-m-x-20-m\\_1](https://shop.protan.no/tak-og-membraner/eksponerte-tak/mekanisk-festet/protan-se-ce7a010a/ruller-til-detaljer/?entryCode=PROTAN-SE-16-MORK-GRA-F94-020-m-x-20-m_1)

Rockwool. (2017). U-verdi beregninger av bygnings energiforbruk, rask og enkel. Hentet 16. mai 2020, fra <https://www.rockwool.no/teknisk-service/beregningsprogram/energiprogram/>

Rolstadås, A., Olsson, N., Johansen, A., & Langlo, J. A. (2020). *Praktisk prosjektledelse: Fra idé til gevinst* (2. utgave.). Bergen: Fagbokforlaget.

SINTEF. (2017, februar 28). Lett-Tak takelementer SINTEF Certification. Hentet 17. mai 2020, fra <https://www.sintefcertification.no/Product/Index/208>

SINTEF Byggforsk. (2003). 573.121 Materialer til luft- og dampetting—Byggforskserien. Hentet 15. mai 2020, fra

[https://www.byggforsk.no/dokument/598/materialer\\_til\\_luft\\_og\\_dampetting#i11](https://www.byggforsk.no/dokument/598/materialer_til_luft_og_dampetting#i11)

SINTEF Byggforsk. (2004a). 525.814 Taksperrer av tre—Byggforskserien. Hentet 18. mai 2020, fra [https://www.byggforsk.no/dokument/398/taksperrer\\_av\\_tre](https://www.byggforsk.no/dokument/398/taksperrer_av_tre)

SINTEF Byggforsk. (2004b). 573.344 Varmeisolasjonsmaterialer. Typer og egenskaper—Byggforskserien. Hentet 11. mai 2020, fra

[https://www.byggforsk.no/dokument/604/varmeisolasjonsmaterialer\\_typer\\_og\\_egenskaper](https://www.byggforsk.no/dokument/604/varmeisolasjonsmaterialer_typer_og_egenskaper)

SINTEF Byggforsk. (2006). 544.101 Tekking med takstein. Materialer, legging og forankring—Byggforskserien. Hentet 3. mai 2020, fra

[https://www.byggforsk.no/dokument/497/tekking\\_med\\_takstein\\_materialer\\_legging\\_og\\_forankring](https://www.byggforsk.no/dokument/497/tekking_med_takstein_materialer_legging_og_forankring)

SINTEF Byggforsk. (2007). 525.101 Isolerte skrå tretak med lufting mellom vindsperre og undertak—Byggforskserien. Hentet 1. april 2020, fra

[https://www.byggforsk.no/dokument/382/isolerte\\_skr\\_aa\\_tretak\\_med\\_lufting\\_mellom\\_vindsperre\\_og\\_undertak](https://www.byggforsk.no/dokument/382/isolerte_skr_aa_tretak_med_lufting_mellom_vindsperre_og_undertak)

SINTEF Byggforsk. (2009). 525.866 Undertak—Byggforskserien. Hentet 31. mars 2020, fra <https://www.byggforsk.no/dokument/410/undertak>

SINTEF Byggforsk. (2010). 525.779 Takopplett og arker i tretak—Byggforskserien. Hentet 3. mai 2020, fra

[https://www.byggforsk.no/dokument/397/takopplett\\_og\\_arker\\_i\\_tretak](https://www.byggforsk.no/dokument/397/takopplett_og_arker_i_tretak)

SINTEF Byggforsk. (2011a). 520.238 Skivekonstruksjoner av tre—Byggforskserien. Hentet 4. mai 2020, fra

[https://www.byggforsk.no/dokument/309/skivekonstruksjoner\\_av\\_tre](https://www.byggforsk.no/dokument/309/skivekonstruksjoner_av_tre)

SINTEF Byggforsk. (2011b). 544.203 Asfalttakbelegg. Egenskaper og tekking—Byggforskserien. Hentet 7. mai 2020, fra

[https://www.byggforsk.no/dokument/504/asfalttakbelegg\\_egenskaper\\_og\\_tekking](https://www.byggforsk.no/dokument/504/asfalttakbelegg_egenskaper_og_tekking)

SINTEF Byggforsk. (2012). 525.102 Isolerte skrå tretak med kombinert undertak og vindsperre—Byggforskserien. Hentet 9. mai 2020, fra

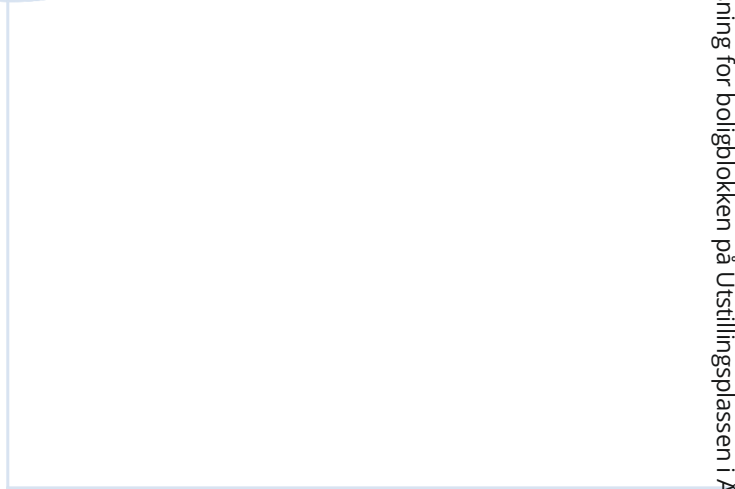
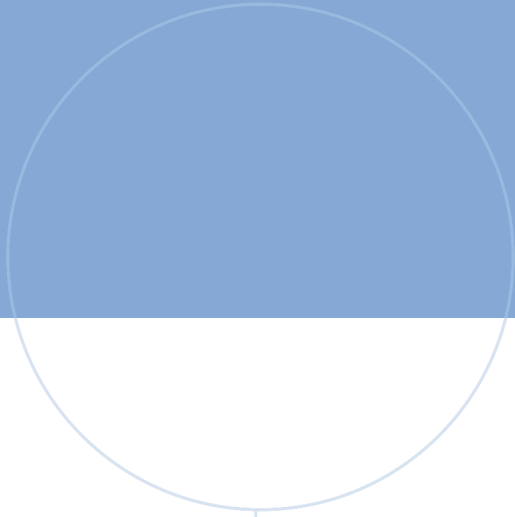
[https://www.byggforsk.no/dokument/383/isolerte\\_skr\\_aa\\_tretak\\_med\\_kombinert\\_undertak\\_og\\_vindsperre](https://www.byggforsk.no/dokument/383/isolerte_skr_aa_tretak_med_kombinert_undertak_og_vindsperre)

SINTEF Byggforsk. (2014). 544.102 Tekking med takskifer—Byggforskserien. Hentet 1. mai 2020, fra [https://www.byggforsk.no/dokument/498/544102\\_tekking\\_med\\_takskifer](https://www.byggforsk.no/dokument/498/544102_tekking_med_takskifer)

- SINTEF Byggforsk. (2015a). 525.831 Fabrikkframstilte takstoler—Byggforskserien. Hentet 5. mai 2020, fra [https://www.byggforsk.no/dokument/403/fabrikkframstilte\\_takstoler](https://www.byggforsk.no/dokument/403/fabrikkframstilte_takstoler)
- SINTEF Byggforsk. (2015b). 525.861 Taktro av tre—Byggforskserien. Hentet 9. mai 2020, fra [https://www.byggforsk.no/dokument/409/taktro\\_av\\_tre](https://www.byggforsk.no/dokument/409/taktro_av_tre)
- SINTEF Byggforsk. (2015c). 571.523 Trevirke. Treslag og materialegenskaper—Byggforskserien. Hentet 15. mai 2020, fra [https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke\\_treslag\\_og\\_materialegenskaper](https://www.byggforsk.no/dokument/578/trevirke_treslag_og_materialegenskaper)
- SINTEF Byggforsk. (2015d). 571.524 Trelast.Typer og egenskaper—Byggforskserien. Hentet 4. mai 2020, fra [https://www.byggforsk.no/dokument/3236/trelasttyper\\_og\\_egenskaper](https://www.byggforsk.no/dokument/3236/trelasttyper_og_egenskaper)
- SINTEF Byggforsk. (2018a). 525.002 Takformer, Taktyper og oppbygning-Byggforskserien. Hentet 3. mai 2020, fra [https://www.byggforsk.no/dokument/381/takformer\\_taktyper\\_og\\_oppbygning](https://www.byggforsk.no/dokument/381/takformer_taktyper_og_oppbygning)
- SINTEF Byggforsk. (2018b). 525.207 Kompakte tak—Byggforskserien. Hentet 3. mai 2020, fra [https://www.byggforsk.no/dokument/387/kompakte\\_tak](https://www.byggforsk.no/dokument/387/kompakte_tak)
- SINTEF Byggforsk. (2018c). 544.221 Taktekking med tynnplater av metall. Båndtekkning og skivetekking—Byggforskserien. Hentet 3. mai 2020, fra [https://www.byggforsk.no/dokument/507/taktekking\\_med\\_tynnplater\\_av\\_metall\\_baandtekkning\\_og\\_skivetekking](https://www.byggforsk.no/dokument/507/taktekking_med_tynnplater_av_metall_baandtekkning_og_skivetekking)
- SSAB. (u.å.). S220GD, S250GD, S280GD, S320GD, S350GD. Hentet 16. mai 2020, fra SSAB website: <https://www.ssab.com/products/steel-categories/metal-coated-steels/steelselector/metal-coated-structural-steels>
- Store Norske Leksikon. (2019). I-bjelker—SNL. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <http://snl.no/I-bjelker>
- Thue, J. V. (2019). SNL - Prefabrikasjon. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <http://snl.no/prefabrikasjon>
- Trefokus. (u.å.). Trefokus. Hentet 16. mai 2020, fra <http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/byggesystemer/precut>
- Ålesund kommune—Reguleringsplan 1504446. (2000). Hentet 14. mai 2020, fra localhost

## VEDLEGG

Vedlegg 1	Energinotat
Vedlegg 2	Premissdokument
Vedlegg 3	Branntekniske premisser
Vedlegg 4	Elementsnitt A254
Vedlegg 5	Montasjeanvisning
Vedlegg 6	Teknisk godkjennelse Lett-tak
Vedlegg 7	Snitt tegning Lett-Tak
Vedlegg 8	Miljøplan for Lett-Tak
Vedlegg 9	Klimagass Lett-Tak
Vedlegg 10	Klimagass Lättelement
Vedlegg 11	Beregning U-Verdi plassbygd tak
Vedlegg 12	Oppheng Sprinkler Lett-Tak
Vedlegg 13	Eposter
Vedlegg 14	Tilbud Lättelement
Vedlegg 15	Tilbud Lett-Tak
Vedlegg 16	Sperretabell Masonite I-bjelke
Vedlegg 17	ETA Lättelement
Vedlegg 18	Snitt Akse A
Vedlegg 19	Snitt Akse B
Vedlegg 20	Snitt Akse C
Vedlegg 21	Plantegning
Vedlegg 22	Teknisk Beskrivelse Masonite Beams
Vedlegg 23	Konstruksjonsguide Rockwool
Vedlegg 24	Tilbud Plassbygd Tak
Vedlegg 25	Tilbud Masonite Beams
Vedlegg 26	CO <sub>2</sub> e-avtrykk plassbygd tak
Vedlegg 27	Forprosjektrapport
Vedlegg 28	Fremdriftsrapport



Valg av takløsning for boligblokken på Utstillingsplassen i Alesund sentrum