

Irene Fure

# Tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg i massivtre

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Marit Støre-Valen

Juni 2020

**NTNU**  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Irene Fure

# Tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg i massivtre

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Marit Støre-Valen  
Juni 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk



**NTNU**

Kunnskap for en bedre verden



# Sammendrag

Denne masteroppgaven har problemstillingen: *Under hvilke forutsetninger er massivtre en god løsning for skolebygg mtp. tilpasningsdyktighet?*

Ut fra den generelle problemstillingen ble det formuert fire forskningsspørsmål for å avgrense og konkretisere oppgaven:

1. Hvorfor velger offentlige byggherrer å bygge nye undervisningsbygg i massivtre?
2. Hvilke bygningstekniske parametere er sentrale for undervisningsbygg mtp. tilpasningsdyktighet?
3. Hvilke muligheter og begrensninger for endringer i undervisningsform og bruk ligger i valg av å benytte massivtre versus andre konstruksjonsprinsipper?
4. Hva vil være de viktigste hensynene å ta i prosjekteringen for å tilrettelegge for tilpasningsdyktighet i et undervisningsbygg i massivtre?

Studien kartlegger motivasjonen til byggherrene for å bygge undervisningsbygg i massivtre, samt de viktigste bygningstekniske parameterne i et undervisningsbygg for å legge til rette for tilpasningsdyktighet (TPD). Disse parameterne er kartlagt ved hjelp av litteraturstudie, intervju og dokumentstudie. Videre undersøkes parameterne i fem casestudier av grunnskoler og videregående skoler, og muligheter og utfordringer med et bæresystem i massivtre kartlegges. Til slutt diskuterer oppgaven rundt hvilke hensyn som er viktige å ta under prosjektering og planlegging av undervisningsbygg i massivtre mtp. TPD.

Resultatene fra denne studien viser at det er de positive innvirkningene på klimagassregnskapet, samt kommunene og fylkeskommunenes klima- og miljøstrategier, som i stor grad er motivasjonen til offentlige byggherrer for å bygge nye undervisningsbygg i massivtre. Videre viser resultatene at parameterne gitt i tabellen under er sentrale for TPD i undervisningsbygg. Tabellen tar utgangspunkt i oversikten gitt i temaheftet *Livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet i bygninger*, skrevet av Multiconsult, og er oppdatert med bakgrunn i resultatene fra denne studien.

<b>Parametere av betydning for installasjonsplass og utstyr</b>	<b>Parametere av betydning for arealdisponering og tilgjengelighet</b>	<b>Parametere av betydning for utvidelsesmuligheter</b>
Netto etasjehøyde	Spennvidder	Tomteforhold
Vertikale sjakter	Innvendige vegger og søyler	
Installasjonsplass over himling	Bygningsbredde	
	Areal pr. elev	
<b>Fleksibilitet og generalitet</b>		<b>Elastisitet</b>

Oppgaven konkluderer med at hovedutfordringen med å benytte massivtre i et tilpasningsdyktig undervisningsbygg er knyttet til den begrensede spennvidden til massivtredekkene. Sammenlignet med stål og betongkonstruksjoner er massivtreelementer derimot enkle å bearbeide og ta hull i, noe som gir en byggeplass med lite støy og støv, noe som er fordelaktig ved å bygge på, eller ved siden av, en skole som samtidig er i drift. Avslutningsvis konstaterer studien med at vurderinger og valg i tidlig

stadiet i stor grad har en innvirkning på TPD i et undervisningsbygg. Viktige elementer for å øke TPD i undervisningsbygg i massivtre er å:

- Vurdere hvor viktig tilpasningsdyktighet er i form av tilleggsvesteringer
- Vurdere om deler av bygget har behov for en større grad av tilpasningsdyktighet enn andre
- Undersøke fremtidige scenarioer og hvordan disse kan løses
- Ta valg av hovedmateriale tidlig, og undersøke kombinasjoner med andre materialer (bæresystemet må være tilpasset det valgte materialet)
- Med fordel benytte samspill

I tillegg til denne masteroppgaven vil hovedfunnene fra studien bli publisert som en konferanseartikkel på den internasjonale forskningskonferansen CIRRE 2020.

# Abstract

This thesis has the main research question: *Under which circumstances is solid wood a good choice for educational buildings in regards of adaptability?*

Based on the general approach to the problem, four sub-research questions were formulated to refine and concretise the thesis:

1. Why do public project owners choose to build new school buildings in solid wood?
2. Which building technical parameters are particularly important for the adaptability of school buildings?
3. What opportunities, and constraints, for changes in educational teaching forms and use, lie in the choice of using solid wood versus other materials?
4. What will be the most important considerations in the design phase, to facilitate adaptability in a school building in solid wood?

This study maps the public project owner's motivation to build new school buildings in solid wood, as well as looking at what is the most important building technical parameters to facilitate adaptability. These parameters are mapped using a literature review, semi-structured interviews and a document study. Furthermore, the parameters are analyzed in five case studies of Norwegian municipalities and counties, and the challenges and possibilities associated with a load bearing system in solid wood are mapped. Finally, the paper discusses what the most important aspects to consider during planning of new school buildings in solid wood are.

The results from this study shows that the parameters given in the table below are important for the adaptability in school buildings. The table is based on the overview given in the booklet *Life Cycle Planning and Adaptability*, written by Multiconsult, and is updated using the results from this study.

<b>Parameters of importance for space for technical installations and equipment</b>	<b>Parameters of importance for disposal of area and availability</b>	<b>Parameters of importance for expandability</b>
Ceiling height	Span	Plot conditions
Vertical shafts	Interior walls and columns	
Space for technical installations above ceiling	Building width	
	Area pr. pupil	
<b>Flexibility and generality</b>		<b>Elasticity</b>

The study reveals that the main challenge of using solid wood in an adaptable school building is tied to the limited span of the CLT floor slabs. Compared to steel and concrete, solid wood elements, on the other hand, are easy to adapt and to make holes in. Making holes in a solid wood slab is a process with small amount of dust and noise, which is beneficial when refurbishing a school in use. Finally, the study finds that early assessment and choices have a major impact on the adaptability of the educational buildings. Important elements to increase the adaptability in solid wood educational buildings are:

- The importance of adaptability in form of additional investments should be considered

- It should be considered if parts of the building has a greater need of adaptability than other parts
- Future scenarios and how these can be solved should be explored
- The choice of main materials in the load bearing system must be taken early, and combinations with other materials should be considered (the load bearing system must be adapted to the chosen material)
- A collaborative design phase can be used advantageously

In addition to this thesis, the main findings from this study will be published at the international research conference CIRRE 2020.



# Forord

Denne masteroppgaven er resultatet av det individuelle arbeidet, og evalueringsgrunnlaget, i faget TBA 4930 Eiendomsledelse og forvaltning, masteroppgave. Masteroppgaven er gjennomført som en del av en spesialisering innen bygg- og anlegg i forbindelse med et 5-årig studie på bygg- og miljøteknikk ved Norges tekniske- og naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven er gjennomført i samarbeid med, og med ønske fra, Undervisningsbygg Oslo KF (UBF). Oppgavens omfang er 30 studiepoeng og er skrevet våren 2020.

Sommeren 2018 og 2019 hadde jeg sommerjobb hos konsulentfirmaet XPRO AS i Molde, hvor jeg bisto på flere ombygginger av skolebygninger, samt noen prosjekter i massivtre. Massivtre er et svært tidsaktuelt tema, og jeg synes det er spennende å følge med på utviklingen. I faget TBA4501 Eiendomsledelse og forvaltning, fordypningsprosjekt skrev jeg en oppgave om tidspunkt for involvering av entreprenør og tidspunkt for valg om å benytte massivtre i massivtreprosjekter. Denne oppgaven ble også skrevet med ønske fra UBF, og baserte seg på erfaringene og meningene til entreprenørene og RIBene på de tre prosjektene til UBF på Prinsdal, Nøklevann og Østensjø skole i Oslo. Gjennom arbeidet med denne prosjektoppgaven ble jeg gjort oppmerksom på kravene om tilpasningsdyktighet i byggene til Oslo kommune, og en av rådgiverne jeg intervjuet påpekte at å benytte massivtre i skolebygninger ikke samsvarer med krav om tilpasningsdyktighet. Jeg synes dette var en interessant problemstilling, og besluttet dermed å videreføre det til masteroppgaven.

I mars 2020 ble verden utsatt for en pandemi, COVID-19, og alle skoler og universitet ble stengt. Arbeidet med denne masteren ble dermed en del annerledes enn tenkt, da størstedelen av oppgaven har blitt skrevet hjemmefra, og ikke fra kontoret på skolen.

I arbeidet med masteroppgaven har jeg hatt en hovedveileder ved instituttet og en ekstern veileder i UBF. Jeg vil takke hovedveileder Marit Støre-Valen for godt samarbeid og veiledning. Videre vil jeg takke ekstern veileder Anne-Kathrine Larssen for god sparring og innspill.

Trondheim, juni 2020



Irene Fure



# Innhold

Figurer .....	xiii
Tabeller.....	xv
Forkortelser/symboler .....	xvii
1 Introduksjon .....	19
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	19
1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål.....	20
2 Teori .....	21
2.1 Tilpasningsdyktighet (TPD).....	21
2.1.1 Generalitet.....	22
2.1.2 Fleksibilitet .....	22
2.1.3 Elastisitet .....	22
2.1.4 Tilpasningsgrad (TPG) .....	23
2.1.5 Sentrale parametere .....	23
2.1.6 Planlegge for tilpasningsdyktighet .....	25
2.1.7 Tilpasningsdyktighet i sykehus.....	26
2.1.8 Tilpasningsdyktighet i kontorbygninger .....	26
2.2 Undervisningsbygg .....	27
2.2.1 Krav .....	28
2.2.2 Utforming .....	28
2.2.3 Arealbruk og arealeffektivitet .....	29
2.3 Materialer .....	29
2.3.1 Massivtre.....	29
2.3.2 Limtre.....	31
2.4 Funn i tidligere studentoppgaver .....	32
3 Metode.....	35
3.1 Valg av forskningsmetode .....	35
3.2 Litteraturstudie.....	35
3.3 Casestudier .....	36
3.3.1 Valg av casestudier.....	36
3.3.2 Dokumentstudie .....	37
3.3.3 Intervjuer .....	38
3.4 Reliabilitet og validitet .....	40
3.4.1 Reliabilitet .....	40
3.4.2 Validitet.....	40

3.5	Konferanseartikkel .....	41
4	Resultat.....	43
4.1	Beskrivelse av casestudier.....	43
4.1.1	Oversikt over casestudier.....	43
4.1.2	Bergen kommune .....	44
4.1.3	Oslo kommune .....	45
4.1.4	Trondheim kommune .....	46
4.1.5	Møre og Romsdal fylkeskommune (MRF).....	48
4.1.6	Nordland fylkeskommune.....	49
4.2	Intervju .....	50
4.2.1	Byggherrer .....	50
4.2.2	Rådgivende ingeniører bygg (RIB).....	56
4.2.3	Massivtre- og limtreleverandører.....	57
4.3	Dokumentstudie .....	59
4.3.1	Prosjekteringsanvisninger og kravspesifikasjoner .....	59
4.3.2	Bygningsteknisk utforming .....	61
5	Diskusjon .....	69
5.1	Massivtre i kommunale og fylkeskommunale undervisningsbygg.....	69
5.2	Tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg i massivtre .....	71
5.2.1	Bygningstekniske parametere.....	75
5.3	Planlegge for tilpasningsdyktighet .....	85
6	Konklusjon.....	87
6.1	Forskningsspørsmål 1 .....	87
6.2	Forskningsspørsmål 2 .....	88
6.3	Forskningsspørsmål 3 .....	88
6.4	Forskningsspørsmål 4 .....	89
7	Videre arbeid .....	91
	Referanser .....	93
	Vedlegg .....	97

# Figurer

Figur 1: Generalitet (SINTEF Byggforsk, 2004) .....	22
Figur 2: Fleksibilitet (SINTEF Byggforsk, 2004).....	22
Figur 3: Elastisitet (SINTEF Byggforsk, 2004).....	22
Figur 4: Prosjektering- og gjennomføringsfase i et massivtreprosjekt kontra et tradisjonelt bygg (Nordisk Massivtre, u.å).....	31
Figur 5: Geografisk plassering av case studie-objekter .....	43
Figur 6: Illustrasjon av Ulsmåg skole (Ola Roald AS, u.å).....	44
Figur 7: Illustrasjon av nytt tilbygg ved Prinsdal skole (SPINN Arkitekter, 2020) .....	45
Figur 8: Illustrasjon av nye Lade skole (Eggen Arkitekter, u.å) .....	47
Figur 9: Illustrasjon av nybygg til Romsdal vgs. (Hus Arkitekter, 2014) .....	48
Figur 10: Illustrasjon av tilbygg til Hadsel vgs. ....	49
Figur 11: Plassering av vertikale sjakter på Ulsmåg skole .....	62
Figur 12: Plassering av vertikale sjakter på Prinsdal skole.....	63
Figur 13: Plassering av vertikale sjakter på Hadsel vgs.....	63
Figur 14: Plassering av innvendig bærende vegger og avstivende vegger i 1.etasje i Ulsmåg skole .....	65
Figur 15: Plassering av bærende vegger og søyler i 1.etasje på Prinsdal skole .....	66
Figur 16: Illustrasjon av bæresystem på Romsdal vgs. ....	66
Figur 17: Plassering av bærende innervegger i 2.etasje i tilbygget til Hadsel vgs.....	66
Figur 18: Antall elever i 1.klasse over hele landet 2005-2019 (Statistisk Sentralbyrå, 2019a) .....	74
Figur 19: Sammenligning av brutto etasjehøyde i undervisningsbyggene .....	76
Figur 20: Sammenligning av installasjonsplass over himling i klasserom og korridorarealer i de undersøkte undervisningsbyggene .....	77
Figur 21: Sammenligning av spennvidder i de undersøkte undervisningsbyggene.....	80
Figur 22: Sammenligning av korridorbredder i de undersøkte undervisningsbyggene ....	81
Figur 23: Oversikt over bygningsbredde i de undersøkte undervisningsbyggene.....	83
Figur 24: Sammenligning av areal pr. elev i de undersøkte undervisningsbyggene .....	83



# Tabeller

Tabell 1: Grad av tilpasningsdyktighet (Multiconsult i Mørk et al., 2008) .....	23
Tabell 2: Sentrale bygningstekniske parametere i fht. tilpasningsdyktighet (Multiconsult, 2007, s. 18) .....	23
Tabell 3: Maksimale spennvidder som kan forventes for massivtreelementer (Edvardsen og Ramstad, 2014).....	30
Tabell 4: Maksimale spennvidder som kan oppnås for bjelkelag av limtrebjelker (Edvardsen og Ramstad, 2014) .....	32
Tabell 5: Oversikt over casestudie-objekter med tilhørende underobjekt.....	37
Tabell 6: Mottatte dokumenter .....	37
Tabell 7: Oversikt over intervjupersoner med tilknytning til case.....	38
Tabell 8: Generell informasjon om Ulsmåg skole.....	44
Tabell 9: Generell informasjon om Prinsdal skole .....	46
Tabell 10: Generell informasjon om Lade skole.....	47
Tabell 11: Generell informasjon om Romsdal vgs.....	48
Tabell 12: Generell informasjon om Hadsel vgs. ....	49
Tabell 13: Oversikt over fremhevede bygningstekniske parametere i intervju med byggherrer .....	52
Tabell 14: Oversikt over fremhevede bygningstekniske parametere i intervju med RIBer .....	56
Tabell 15: Oversikt over de utvalgte skolenes etasjehøyde i klasserommene .....	62
Tabell 16: Oversikt over de utvalgte skolenes installasjonsplass over himling og vertikale sjakter.....	62
Tabell 17: Oversikt over lastkapasiteten til dekke på de utvalgte skolene.....	64
Tabell 18: Oversikt over spennviddene på de utvalgte skolene .....	64
Tabell 19: Oversikt over bredden på kommunikasjonsveiene i de utvalgte skolene .....	65
Tabell 20: Oversikt over bygningsbredden til de utvalgte skolene.....	67
Tabell 21: Oversikt over arealmengder i de utvalgte skolene .....	67
Tabell 22: Oversikt over krav i prosjekteringsanvisningene til kommunene og fylkeskommunene .....	72
Tabell 23: Sammenligning av intervjuresultat om bygningstekniske parametere mellom byggherrer og rådgivere.....	75
Tabell 24: Oversikt over viktige bygningstekniske parametere mtp. tilpasningsdyktighet i et undervisningsbygg.....	88





# Forkortelser/symboler

BK	Bergen kommune
BP	Bjørnstad Prosjektering
CLT	Cross laminated timber
FGE	Flexibilitet, generalitet, elastisitet
H2	H2 Prosjektering
KL-tre	Krysslimt tre
MC	Multiconsult
NF	Møre og Romsdal fylkeskommune
MRF	Nordland fylkeskommune
NKF	Norsk Kommunalteknisk Forening
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
RIB	Rådgivende ingeniør bygg
TK	Trondheim kommune
TPD	Tilpasningsdyktighet
TPG	Tilpasningsgrad
UBF	Undervisningsbygg Oslo KF
bla.	Blant annet
hhv.	Henholdsvis
mtp.	Med tanke på



# Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Bærekraft og reduksjon av klimagassutslipp er i vinden som aldri før. I juni 2016 meldte Norge inn mål til FN om å redusere utslippene av klimagasser med 40 prosent fra 1990-nivå innen 2030 (Meld. St. 41 (2016-2017)). Nylig varslet Norges klima- og miljøminister, Sveinung Rotevatn, at disse klimamålene skrus opp ytterligere, til mellom 50 og 55 prosent kutt i Norges utslipp (Miljødirektoratet, 2020).

Bygg- og eiendomssektoren har stor betydning for at Norge skal nå sine klimamål, og står for 1,6 % av landets totale klimagassutslipp, det vil si 0,85 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (Bygg21, 2018). Sektoren er en viktig premisgiver for både direkte og indirekte utslipp. Selv om de direkte utslippene fra fossil oppvarming av bygg og fossil energibruk på bygg- og anleggsplasser er relativt små, har sektoren stor påvirkning på utslipp i industri-, transport-, energi- og avfallssektoren. Tiltak som er iverksatt for å redusere disse utslippene er fossilfrie byggeplasser med bruk av elektriske anleggsmaskiner, sirkulærøkonomi med gjenbruk av materialer og avfallshåndtering med strengere krav til sortering og gjenvinning. Et annet viktig tiltak er bruk av alternative lavutslippsmaterialer. I en rapport skrevet av Byggemiljø i 2006 kommer det frem at klimagassutslipp knyttet til bygg- og anleggsmaterialer utgjorde 8 prosent av nasjonale utslipp (Byggemiljø, 2007). I tillegg til dette kommer utslipp i utlandet knyttet til materialer vi importerer. Mange byggherrer lager under planlegging og prosjektering av bygg klimagassregnskap for byggets totale livsløp, som inkluderer utslipp knyttet til materialbruk. Disse regnskapene brukes for å velge løsninger og materialer med lavest mulige utslipp, og det er stadig flere byggherrer som etterspør materialer med dokumenterte lave klimagassutslipp, som lavkarbonbetong, limtre og massivtre.

Bruken av massivtre som konstruksjonsvirke er økende i Norge og mange nye prosjekter er under planlegging og utførelse. De siste årene er det bygd både boliger, formålsbygg som skoler, helse- og omsorgsinstitusjoner og barnehager, samt flere næringsbygg med et stort innslag massivtre. Valget om å benytte massivtre som bærekonstruksjon i bygninger begrunnes ofte med arkitektoniske, miljømessige og estetiske aspekter (TreFokus, 2011). Produksjon av massivtre har hittil vært begrenset til relativt få leverandører, men produksjonskapasiteten er under oppbygging, også i Norge. Kompetansen på massivtre er foreløpig begrenset til relativt få aktører i alle ledd, dvs. både hos byggherrer, prosjekterende og entreprenører. Ferdigstilte prosjekter er også relativt nye, og erfaringene fra bruk/drift er foreløpig begrenset.

I en markedsanalyse gjennomført av Treteknisk anslås det at 30 prosent av alle nye skoler frem til 2024 vil bygges i massivtre, og en vesentlig faktor for dette er den positive innvirkningen på innemiljøet (Aasheim og Lier, 2017). Skoleanlegg bygges normalt med et langsiktig perspektiv, gjerne 40-60 år. Undervisningsformer og bruken av bygningene vil endre seg over levetiden til bygget og det er derfor viktig å legge til rette for muligheter for å endre bruk av enkeltrom og foreta endringer i planløsning. Massivtre har andre egenskaper enn mer tradisjonelle konstruksjonsvalg, som stål og betong, både i oppbyggingen av selve bæresystemet og egenskaper knyttet til akustikk og brann, og følgelig har massivtre både fordeler og begrensninger mtp. fremtidige endringsmuligheter.

Disse endringsmulighetene er knyttet til byggenes tilpasningsdyktighet som består av en kombinasjon av prinsippene elastisitet, generalitet og fleksibilitet. Elastisitet omfatter muligheten for å øke eller redusere bruksarealene i en bygning, mens generalitet omfatter muligheten for å møte vekslende funksjonelle krav uten bygningsmessige eller tekniske tiltak. Med fleksibilitet menes muligheten for å møte vekslende funksjonelle krav gjennom å forandre bygningen (SINTEF Byggforsk, 2004).

I Norge er det Utdanningsdirektoratet som har ansvaret for selve utviklingen av opplæringen, og de formidler denne utviklingen via skolereformer. Nye skolereformer og de behovene disse skaper for bruken av klasserom, grupperom og lignende setter dermed økt krav til en fleksibel planløsning i skolebygg. Andre faktorer som har påvirket utformingen av skolebygg er universell utforming, økt befolkningstetthet og større fokus på sambruk. I 2005 skrev Karin Buvik om trender i skolen, og om 90-talls-reformene som satte søkelyset på endringspotensialet i undervisningsbyggene. Hun skriver at vi ikke kan vite hva slags endringer som kommer, men det vi vet, er at endringene kommer raskt. For at disse endringene ikke skal medføre kostbare og omfattende bygningsmessige endringer må det fokuseres på egenskaper ved bygningsanlegget som gir en høy grad av tilpasningsdyktighet. Buvik påpeker at dette gjelder alle nivå, fra overordnet konsept med bærende konstruksjoner og tekniske installasjoner til romutforming og møblering.

Det er skrevet mye om tilpasningsdyktighet i sykehus og kontorbygninger, men lite om undervisningsbygg. Denne oppgaven kartlegger motivasjonen til offentlige byggherrer for å bygge undervisningsbygg i massivtre, og identifiserer bygningstekniske parametere som er sentrale for å øke tilpasningsdyktigheten til undervisningsbygg. Oppgaven fokuseres på massivtre som materiale i bærekonstruksjon, og muligheter og begrensninger knyttet til materialvalget kartlegges gjennom undersøkelser av fem massivtreskoler, samt hvilke hensyn som er viktige å ta under planlegging og prosjektering av undervisningsbygg i massivtre.

## 1.2 Problemstilling og forskningsspørsmål

Masteroppgaven har problemstillingen:

Under hvilke forutsetninger er massivtre en god løsning for undervisningsbygg mtp. tilpasningsdyktighet?

Der er formulert fire sentrale spørsmål som det er et mål om å få belyst i oppgaven:

1. Hvorfor velger offentlige byggherrer å bygge nye undervisningsbygg i massivtre?
2. Hvilke bygningstekniske parametere er sentrale for å legge til rette for tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg?
3. Hvilke muligheter og begrensninger for endringer i undervisningsform og bruk ligger i valg av å benytte massivtre versus andre konstruksjonsprinsipper?
4. Hva vil være de viktigste hensynene å ta i planleggingen og prosjekteringen for å legge til rette for tilpasningsdyktighet i et undervisningsbygg i massivtre?

## 2 Teori

I dette kapittelet presenteres relevant teori for å kunne svare på forskningsspørsmålene. Først presenteres generell informasjon om begrepet tilpasningsdyktighet og undervisningsbygg, samt tilhørende krav. Deretter vil det gjøres rede for ulike materialer som er relevante for denne oppgaven. Til slutt vil funn i tidligere studentoppgaver bli beskrevet kortfattet.

### 2.1 Tilpasningsdyktighet (TPD)

Tilpasningsdyktighet (TPD) handler om mulighet for kortsiktig og langsiktig endring av areal med bakgrunn i endrede gruppesammensetninger og aktiviteter. Mulighetene for å foreta endringer avhenger av bygningsstrukturen og de tekniske systemene i bygget. (SINTEF Byggforsk, 2009b)

I rapporten *Livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet i bygninger* definerer Multiconsult tilpasningsdyktighet som:

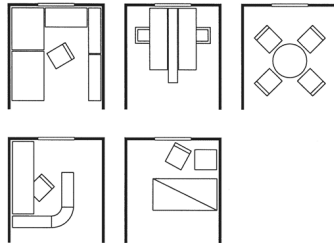
En bygnings tilpasningsdyktighet er egenskapen den har til å møte vekslende krav til funksjonalitet og fremkommer som en funksjon av bygningens generalitet, fleksibilitet og elastisitet. (2007)

Forskjellige typer bygninger vil ha ulike krav til tilpasningsdyktighet. Graden av tilpasningsdyktigheten avhenger av behovet, frekvensen og levetiden. Sentrale spørsmål er; er det behov for endring over tid, hvor ofte vil disse endringene komme og hvor lang er tiltenkt levetid for bygget. I praksis handler tilpasningsdyktighet om fire forhold; bygningsmessig utvidelse, installasjonsplass, arealdisponering og å unngå bindinger. Bygningsmessig utvidelse omfatter muligheter for å bygge på eller til, mens installasjonsplass handler om muligheter for utvidelse av tekniske føringer og tilgjengelighet til disse. Arealdisponering innebefatter muligheter for utforming av planløsninger, mens å unngå bindinger handler om at bygningskomponenter skal kunne skiftes ut, uten at det berører tilleggende komponenter. (Multiconsult, 2007)

Nytteverdien til tilpasningsdyktigheten til et bygg er knyttet til god funksjonalitet over tid, lavere kostnader for eier over tid og lavere miljøbelastning. Med tanke på undervisningsbygg vil god funksjonalitet over tid gi effektiv ressursutnyttelse i forbindelse med bygningsmessig drift, samt god produktivitet og effektivitet. Dette vil strekke bygningens levetid slik at investeringene som blir gjort er langsiktige. Lange levetider vil minimere ny produksjon og avfall som igjen vil gi en lavere miljøbelastning. Nytteverdien lavere kostander er knyttet til reduserte ombyggingskostnader og god tilgjengelighet og forenklet utskifting av bygningstekniske komponenter. Tilpasningsdyktigheten til et bygg vil også være med som et positivt bidrag til samfunnsutviklingen ved at det kutter kostander og øker produktivitet, bevarer miljøet og tilrettelegger for menneskene i bygningen med tanke på kvalitet, innemiljø og egnethet. (Multiconsult, 2007, s. 20)

### 2.1.1 Generalitet

Generalitet omhandler muligheten for å øke vekslende funksjonelle krav uten bygningsmessige eller tekniske tiltak (SINTEF Byggforsk, 2004). Med dette menes det at rommene har en størrelse og en utforming som gjør at de kan brukes til flere typer aktiviteter og brukergrupper, som illustrert i figur 1.

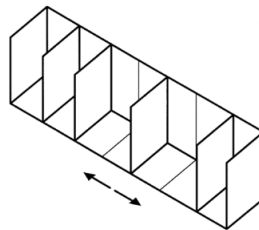


**Figur 1: Generalitet (SINTEF Byggforsk, 2004)**

Bygningseiere vil i stor grad ha fokus på generalitet, da dette gir muligheter for alternativ bruk og således et større marked (Multiconsult, 2007, s. 15).

### 2.1.2 Fleksibilitet

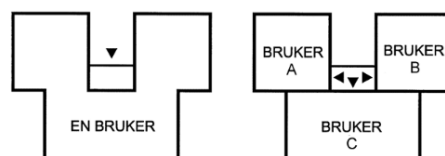
Begrepet fleksibilitet omhandler muligheten for å møte vekslende funksjonelle krav gjennom å forandre bygningen. Dette innebærer at det er mulig å flytte innvendige vegger, slik at man kan lage nye planløsninger og sammensetninger av rom, se illustrasjon i figur 2. (SINTEF Byggforsk, 2004).



**Figur 2: Fleksibilitet (SINTEF Byggforsk, 2004)**

### 2.1.3 Elastisitet

Elastisitet defineres som muligheten for å øke eller redusere bruksarealene i en bygning (SINTEF Byggforsk, 2004). Det vil si at det er muligheter for å kunne utvide en bygning med tilbygg/påbygg eller fjerne deler av bygningen, som illustrert i figur 3.



**Figur 3: Elastisitet (SINTEF Byggforsk, 2004)**

I et skolebygg kan det for eksempel være deler av bygningen som kan skilles fra hverandre, og brukes til andre formål. Det er også viktig at skolen kan utvides og gi plass til nye aktiviteter eller flere elever. (SINTEF Byggforsk, 2009b)

### 2.1.4 Tilpasningsgrad (TPG)

Forskjellige typer bygninger har behov for ulik grad av tilpasningsdyktighet. Grad av tilpasningsdyktighet, tilpasningsgrad, beskrives ut fra en samlet vurdering av fleksibilitet (F), generalitet (G) og elastisitet (E). Både tilpasningsgraden, og fleksibilitet, generalitet og elastisitet, måles på en skala fra 0 til 3, der 0 er best og 3 er dårligst.

Tabell 1 viser et forslag til grad av tilpasningsdyktighet som funksjon av fleksibilitet, generalitet og elastisitet (FGE), og hvilke krav som typisk bør stilles til ulike typer bygg.

**Tabell 1: Grad av tilpasningsdyktighet (Multiconsult i Mørk et al., 2008)**

Tilpasningsgrad	FGE	Type bygg (eksempel)	Forventet levetid
TPG 0	F=0 G=0 E=0	Helse	45-70 år
TPG 1	F=0-1 G=0-1 E=2	Kontor Undervisning	15-45 år 15-55 år
TPG 2	F=1-2 G=2-3 E=3	Bolig Industri	45-70 år 45-75 år
TPG 3	F=2 G=3 E=3	Kultur	

### 2.1.5 Sentrale parametere

I temaheftet om *Livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet i bygninger* har Multiconsult identifisert bygningstekniske egenskaper som er sentrale med tanke på tilpasningsdyktighet, se tabell 2. Parameterne er delt inn etter betydning for installasjonsplass og utstyr, arealdisponering og tilgjengelighet og utvidelsesmuligheter.

**Tabell 2: Sentrale bygningstekniske parametere i fht. tilpasningsdyktighet (Multiconsult, 2007, s. 18)**

Parametere av betydning for installasjonsplass og utstyr	Parametere av betydning for arealdisponering og tilgjengelighet	Parametere av betydning for utvidelsesmuligheter
Tekniske mellometasjer	Mulighet for frie flater (spennvidder)	Tomteforhold (mulighet for tilbygg)
Netto etasjehøyde	Bredde kommunikasjonsveier	Lastkapasitet bæresystem (mulighet for påbygg)
Vertikale sjakter/ installasjonsplass	Innervegger (tunge/ lette konstruksjoner)	
Mulighet for hulltaking i dekke	Bygningsbredde	
Lastkapasitet dekke	Arealmengde pr etasje	
<i>Fleksibilitet og generalitet</i>		<i>Elastisitet</i>

## **Parametere av betydning for installasjonsplass og utstyr**

Som tabell 2 viser er etasjehøyden, tekniske mellometasjer, vertikale sjakter, hulltaking i dekke og lastekapasiteten til dekke viktige parametere for fleksibilitet og generalitet med tanke på installasjonsplass og utstyr.

### **Netto etasjehøyde**

Etasjehøyden vil ha betydning for fremføring av installasjoner i himling, plassering av stort, evt. takhengt, utstyr, og at rommet har et tilstrekkelig volum med tanke på luftmengde og romfølelse. (Multiconsult, 2007)

### **Tekniske mellometasjer, vertikale sjakter/ installasjonsplass**

Vertikale sjakter og tekniske mellometasjer er viktig med tanke på fremføring av tekniske installasjoner og anlegg, og deres utvidelsesmulighet og tilgjengelighet.

En teknisk mellometasje er en etasje for fremføring av tekniske installasjoner mellom to vanlige etasjer. Slike mellometasjer blir plassert over areal med stort behov for tekniske installasjoner, og ofte over tyngre bruksfunksjoner som operasjon, røntgen og intensivavdelinger i sykehus. En teknisk mellometasje har takhøyde nok til at man kan gå inn å skifte utstyr, drive vedlikehold og legge til rette for bruksendringer. (Kallmyr, 2004)

Tekniske installasjoner føres i stor grad over himling for horisontale føringer, og i sjakter for vertikale føringer. Vanlig praksis for fremføringer av tekniske installasjoner horisontal er å senke himlingen i korridorene for å gi plass til tekniske føringer (SINTEF Byggforsk, 2002).

I byggforskblad 379.320 *Plassbehov for føringsveier til tekniske installasjoner* skrives det at det er viktig å ta hensyn til muligheten for økt belastningsnivå i fremtiden ved planlegging og dimensjonering av luftbehandlingsanlegg. I henhold til tabell 5 i byggforskblad 379.320 kan man velge kategoriene lav, normal og høy ved dimensjonering av vertikale sjakter. Kategoriene betegner den relative forskjellen mellom de ulike alternativene, der høy betegner større grad av fleksibilitet. (SINTEF Byggforsk, 2002)

### **Mulighet for hulltaking i dekke**

Mulighet for hulltaking i dekke er viktig for montering av utstyr og fremføring av nye installasjoner. (Multiconsult, 2007, s. 16-17)

I henhold til byggforskblad 720.605 *Hulltaking i vegger og etasjeskillere/dekker* må man utvise forsiktighet ved hulltaking i plasstøpte betongdekker. Store, kontinuerlige betongdekkeflater har ofte horisontale strekkspenninger som følge av svinn, og utsparinger kan føre til spenningsutløsning i dekkeskiva. Dersom dette skjer kan det oppstå sprekker ut fra hjørnene i den nye utsparingen. Hulltaking i prefabrikkerte betongdekker er noe mindre utfordrende, og man kan vanligvis ta mindre hull ved fugen mellom to elementer. I hulldekkeelementer kan man lage vertikale hull gjennom de horisontale kanalene i dekket uten at det har betydning for bæreevnen, og i trebjelkelag kan man vanligvis ta mindre utsparinger mellom bjelkene, uten reduksjon av bæresystemets kapasitet eller stivhet. (2013)

I massivtredekker må større utsparinger og hull med i dimensjoneringen. Ved nybygg gjøres dette som oftest under produksjon av elementene, men det kan også gjøres på byggeplass. (SINTEF Byggforsk, 2009a)



## Lastkapasitet dekke

Lastkapasiteten til dekke er viktig med tanke på muligheten for store nyttelaster. Nyttelaster velges i tråd med NS-EN 1991-1-1-1:2002. For undervisningsbygg benyttes kategori C i tabell NA 6.1 – brukskategorier, og tabell NA 6.2 – nyttelaster på gulv, balkonger og trapper i bygninger.

Vedrørende kategori C så fremgår følgende:

C1: Kontorer, undervisningsrom, leserom, resepsjoner o.l:	3 kN/m <sup>2</sup>
C2: Auditorium, kantine, kommunikasjonsarealer/ fellesområder ol.:	4 kN/m <sup>2</sup>
C3: Verkstedhaller, kommunikasjonsarealer i glassgård:	5 kN/m <sup>2</sup>
C4: Idrettshaller, scener o.l:	5 kN/m <sup>2</sup>
C5: Bibliotek	7,5 kN/m <sup>2</sup>

## Parametere av betydning for arealdisponering og tilgjengelighet

Parameterne som er av betydning for arealdisponering og tilgjengelighet er mulighet for frie flater, bredden på kommunikasjonsveiene, innerveggkonstruksjonene, bygningsbredden og arealmengden pr. etasje. Disse parameterne er alle knyttet til muligheten for endringer i planutforming. Ingen, eller få, bærende innervegger gir muligheter for endringer i arealutforming og lange spenn gir økt mulighet for frie, åpne flater. Enkelte funksjoner i et bygg krever et minsteareal for å fungere tilfredsstillende og er dermed avhengig av areal pr. etasje, og bygningsbredden har innvirkning på arealeffektiviteten i bygget. Arealnormene for undervisningsbygg beskrives ytterligere i punkt 2.2.3 *Arealbruk og arealeffektivitet*.

Bredden på kommunikasjonsveier må oppfylle krav til rømning og krav om universell utforming (Multiconsult, 2007). I henhold til NS 11001-1:2018 skal korridorene være minst 1,6 m brede, og ha en netto fri høyde på 2,2 m, for å tilfredsstille kravene om universell utforming.

## Parametere av betydning for utvidelsesmuligheter

De siste parameterne som er identifisert knytter seg til utvidelsesmulighetene til et bygg. Utnyttelsesgrad og høyde, samt plassering av bygg på en tomt avgjør muligheten for utvidelser av bygget. Lastkapasiteten til bæresystemet til bygget har betydning for mulighetene for påbygg av en eller flere etasjer. (Multiconsult, 2007)

### 2.1.6 Planlegge for tilpasningsdyktighet

I tillegg til de viktigste bygningstekniske parameterne har Multiconsult utarbeidet to oppsummerende stikkordslister for tilrettelegging av tilpasningsdyktighet i nye bygninger, én generelt for hele prosjektet og én for tidlig- og prosjekteringsfasen.

#### **Generelt**

- Ha fokus på tidligfase og fastlegg krav til livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet, tenk helhet.
- Foreta vurderinger om bygningens fremtidige bruk.
  - o Hvilken virksomhet skal benytte bygningen, er virksomheten dynamisk og vil ha behov for hyppige endringer, hvor lang er brukstid (evt. leietid)

- Hvordan er markedet for lignende virksomheter, bør det tilrettelegges for andre markedssegmenter (andre typer virksomheter)
- Hvordan bør bygningen plasseres på tomt med tanke på fremtidig utvidelse etc.
- Med utgangspunkt i vurderinger om fremtidig bruk, hvor mye bør det satses på tilpasningsdyktighet? Og hva slags tilpasningsdyktighet anses som mest sentralt, hhv. fleksibilitet, generalitet og/eller elastisitet.
- Husk at tilpasningsdyktighet ikke nødvendigvis gir tilleggsinvesteringer, men er en måte å tenke på når man velger løsninger.  
(Multiconsult, 2007, s. 27)

### **Tidligfase og prosjekteringsfasen**

- Valg av bygningskonsept/ -struktur. Tenk alternativt og let etter gode løsninger som gir tilpasningsdyktighet. Vurder om det er lønnsomt med tilleggsinvesteringer i tilpasningsdyktighet i form av overdimensjonering.
- Vurder parametere som lastkapasiteter, bæresystem (lange spenn, ikke bærende innervegger), etasjehøyder, tekniske føringsveier (god plass, lett tilgjengelighet), modularitet (arealutforming, lettvegger, seksjonering, påbygninger), unngå bindinger mellom bygningsdeler med ulik levetid (0-friksjon), tenk på kommunikasjonsveier (horisontalt og vertikalt), vurder tetthet på den tekniske griden (fleksibilitet i uttak) osv.
- Tenk miljøbelastning. Legg vekt på gode energiløsninger. Legg til rette for økte levetider på bygningskomponenter og tenk gjenvinning, gjenbruk og ombruk. Unngå miljøfarlige materialer.
- Bruk LCC-beregninger til å vurdere alternativer og dokumentere konsekvensene av de valgene som gjøres.
- Bruk betraktninger om fremtidig utviklinger (scenarier) til å vurdere totaløkonomien, dvs. LCC i forhold til LCI (Life Cycle Income).
- Vær klar over ulike aktørers ulike interesser og fokus. Still krav.
- Livløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet kan ha stor markedsverdi for både eier og bruker og gir samfunnsnytte.  
(Multiconsult, 2007, s. 27)

#### **2.1.7 Tilpasningsdyktighet i sykehus**

Grunnet de hyppige endringene i medisin, teknologi, pasientgrupper, organisasjonsformer etc., samt krav til effektivitet og funksjonalitet både for pasienter og personell, er et sykehus i høyst grad en dynamisk bygning (Multiconsult, 2007). At et sykehus er dynamisk vil si at tiden mellom hver bygningsmessig endring er kort, og at behovet for tilpasningsdyktighet er stort.

I en undersøkelse av seks norske sykehus, gjort av Larssen og Valen (2006), ble det funnet at de mest nyttige tiltakene knyttet til tilpasningsdyktighet i sykehus er å ha en overordnet plan for design og konsept, samt viktigheten av generalitet, fleksibilitet og overskuddskapasitet.

#### **2.1.8 Tilpasningsdyktighet i kontorbygninger**

Tidligere handlet tilpasningsdyktighet i kontorbygninger i stor grad om fysisk fleksibilitet og om muligheten til å kunne flytte innvendige vegger. I dag endrer organisasjoner seg raskt, og både generalitet og elastisitet har dermed blitt mer og mer viktig. Bygninger må kunne tilpasses varierende krav, helst uten bruk av mye ressurser, noe som vektlegger

viktigheten av generelle arealer og innredninger, i stedet for skreddsydde løsninger. I dag planlegges også de fleste kontorbygningene som bygges for oppdeling og muligheter for salg og utleie til flere enn bare én bruker. (Arge, 2003)

### Elastisitet

Tiltakene som fremmer oppdelbarheten til en kontorbygning i separate utleieenheter er bygningskroppens romlige organisering og funksjonsseparering. Bygningskroppens romlige organisering omfatter muligheten for separate atkomster til de delene av bygningen som kan tenkes utleid eller solgt til andre, mens funksjonsseparering betyr at vanlige arbeidsplassfunksjoner, fellesfunksjoner og spesialfunksjoner er atskilte. (Arge, 2003)

### Generalitet

Kontorbygningenes generalitet fremmes av bygningens dybde, netto etasjehøyde og teknisk grid. (Arge, 2003)

Ifølge Arge (2003) er en bygningsdybde på 16-17 m ideell i en kontorbygning med tanke på ulike kombinasjoner av kontorløsninger, samt god arealeffektivitet. Med bakgrunn i filosofien om et åpent kontorlandskap bygges det også kontorbygninger som er mer enn 20 m dype. Dersom disse bygningene skal bygges om til tradisjonelle cellekontor vil dette kunne gi en lavere arealeffektivitet.

I et kontorbygg vil etasjehøyden være avhengig av hva som veier tyngst av flest mulig etasjer innenfor gesimshøyde eller behovet for høy generalitet. Høy generalitet tilsvarer en netto etasjehøyde på 2,7 m og en brutto etasjehøyde på 3,6 m, og vil gi en stor frihet mtp. innrednings- og kontorløsninger. Brutto etasjehøyde kan reduseres til 3,3-3,4 m ved å sløyfe nedforet himling langs fasaden, men vil sette begrensninger til hvor det er mulig å etablere rom. (Arge, 2003)

Den tekniske griden i en kontorbygning må gjenspeile alle mulige arbeidsplassposisjoner og plasseringer av rom. Et teknisk grid med tett gridstruktur med høy funksjonalitet vil øke prosjektkostnaden mye, og byggherrer må vurdere hvor høy generalitet det er nødvendig å investere i. Dette løses ofte med at en del av arealene gis høy generalitet, mens de resterende arealene gis en begrenset generalitet. (Arge, 2003)

### Fleksibilitet

Fleksibilitet i en kontorbygning er viktig for brukeren for å oppnå god funksjonalitet, mens eieren vil kunne oppnå en høyere leieinntekt som følge av god funksjonalitet (Multiconsult, 2007).

De viktigste parameterne med tanke på fleksibilitet i en kontorbygning er bygningens horisontale modulnett, systemvegger og om himlingen er sammenhengende flat og lydtett. Bygningens modulnett burde ha færrest mulig varianter når det gjelder innvendige systemvegger, og ved å benytte systemvegger kan man endre planløsningen uten at det i stor grad påvirker kjernevirksomheten. For å enklest etablere festeanordninger for systemveggene er det en fordel at himlingen er flat og tilfredsstillende kravene til lydoverføring mellom rom. (Arge, 2003)

## 2.2 Undervisningsbygg

Skolen i Norge deles inn i de tre hovedgrupperingene barneskole (1.-7.-trinn), ungdomsskole (8.-10.-trinn) og videregående skole. I tillegg til disse tre grupperingene

finnes det også kombinasjonsskoler som består av både barneskole og ungdomsskole (1.-10.-trinn) (SNL, 2018). I Norge har alle både rett og plikt til 10 års utdanning i henhold til opplæringsloven av 1948. I henhold til §13-1 og §13-3 i Opplæringsloven skal offentlige grunnskoler være kommunale, mens ansvaret for videregående opplæring ligger hos fylkeskommunen (1998). Dette betyr at det er kommunene som er byggherrer ved bygging av nye barne- og ungdomsskoler, mens fylkeskommunen er byggherre ved bygging av videregående skoler.

Ansvaret for utvikling og forvaltning av opplæringen ligger hos Utdanningsdirektoratet og blir formidlet gjennom skolereformer og læreplaner (Udir, 2019). Den gjeldende skolereformen i Norge er *Kunnskapsløftet*, og ble vedtatt på Stortinget i 2004. En av de viktigste endringene i Kunnskapsløftet er knyttet til *mer vekt på tilpasset opplæring*. For å møte denne differensieringen i opplæringen må det fysiske miljøet i skolene tilrettelegges for ulike gruppestørrelser og aktiviteter (SINTEF Byggforsk, 2009b). Våren 2016 ble det besluttet av regjeringen at alle skolefagene skulle gjennomgå for å sikre mer dybdelæring og bedre forståelse (Meld.St.28(2015-2016)). Høsten 2020 vil den nye skolereformen *Fagfornyelsen*, som en fornyelse av Kunnskapsløftet, innføres, med nye læreplaner som legger vekt på mer dybdelæring, mindre overflatekunnskap og mer praktisk læring (Utdanningsdirektoratet, 2018). Slike endringer i skolereformene stiller krav til skolene og deres tilpasningsdyktighet, og i henhold til Byggforskblad 342.205 må derfor tilpasningsdyktige skoleanlegg etterstrebes. (SINTEF Byggforsk, 2009b).

### 2.2.1 Krav

Det viktigste regelverket for ivaretagelse av det fysiske miljøet i skoler er knyttet til teknisk forskrift (TEK) og følgende lover med tilhørende myndigheter: Opplæringsloven, Folkehelseloven, Arbeidsmiljøloven og Plan- og bygningsloven.

I tillegg til lovene og tekniske krav har noen av de større kommunene utarbeidet egne kravspesifikasjoner, eller prosjekteringsanvisninger, for prosjektering av nye offentlige bygninger. Noen kommuner har en generell kravspesifikasjon som gjelder for alle bygninger, mens de større kommunene, som Oslo, Trondheim og Bergen, har egne kravspesifikasjoner for skolebygg. Små kommuner tar gjerne utgangspunkt i standarder fra de store kommunene (SINTEF Byggforsk, 2009b).

### 2.2.2 Utforming

Opplæringsloven og skolereformer ligger til grunn for utforming av læringsarealer. Utformingen av skolebygg har forandret seg i løpet av årene, og i dag er det stor variasjon i utforming i forhold til de tidligere mer standardiserte skolebygningene. Ny organisering og nye arbeidsformer har ført til at det bygges skoler med nye planløsninger og romtyper, men det bygges fortsatt mange klasseromsskoler (SINTEF Byggforsk, 2009c). Frem til slutten av det 20. århundre var den tradisjonelle klasseromsskolen dominerende i skolebygg, og skolen var preget av et relativt stabilt syn på læring og utforming. Ved dette skiftet var det flere som mente at baseskolene, med store åpne læringsareal var svaret på hvordan skolene skulle utformes. Kritikerne pekte derimot på støyproblemer, og mangel på struktur som problemer knyttet til baseskolene. (Storstrand, 2014)

I 2014 skriver Storstrand at under planlegging av nye skolebygg er fokuset på å tilrettelegge for «fremtidens skole», og begrepene som går igjen i beskrivelsene er fleksibilitet, sambruk og åpenhet. De tradisjonelle klasserommene, med klasserom på hver side av en lang korridor, organiseres i tilknytning til et hjemmeområde der mange

fellesfunksjoner for et helt trinn, eller flere klasser, er samlet. Videre skriver Storstrand at transparens, glassvegger og åpne løsninger er tidstypiske trekk i nye skoleanlegg.

### 2.2.3 Arealbruk og arealeffektivitet

Det finnes ingen nasjonale arealnormer for skolebygg, men mange kommuner har utarbeidet sine egne arealnormer som skal brukes ved prosjektering av nye skoler i kommunene. I 2015 utarbeidet Norconsult, på vegne av Utdanningsdirektoratets rådgivningstjeneste for barnehage- og skoleanlegg, et notat som presenterer arealnormer for grunnskoler i fem kommuner. Kommunene som ble undersøkt ble valgt på bakgrunn av at de er store utbyggere av undervisningsbygg og at de har utarbeidet standard arealskjemaer for nye undervisningsbygg (Norconsult, 2015).

Ut fra elevtallene og arealnormene til den enkelte skoletypen i de fem kommunene har Norconsult beregnet gjennomsnittet for disse skolene, og kommet frem til følgende oversikt:

- Den gjennomsnittlige ungdomsskolen har et elevtall på 522 elever og et netto areal på 4223 m<sup>2</sup>, tilsvarende 8,1 m<sup>2</sup>/elev
- Den gjennomsnittlige kombinertskolen har et elevtall på 785 elever og et nettoareal på 5580 m<sup>2</sup>, tilsvarende 7,1 m<sup>2</sup>/elev
- Den gjennomsnittlige barneskolen har et elevtall på 625 elever og et nettoareal på 4710 m<sup>2</sup>, tilsvarende 7,5 m<sup>2</sup>/elev (2015)

De overnevnte gjennomsnittlige arealnormene er fratrukket areal for kroppsøving og uteområder. Inklusive idrettsareal, opererer Bergen kommune med et gjennomsnitt på 9,2 m<sup>2</sup> for barneskoler og 9,8 m<sup>2</sup> for ungdomsskoler (2016b).

FEF-modellen er en standard for dimensjonering av videregående skoler utviklet i samarbeid mellom de fleste fylkeskommunene. I modellen legger man inn antall elever og klasser per studieretning, og modellen genererer så et arealprogram for skolen. Modellen definerer en standard på 2,45 m<sup>2</sup>/elev på studieforbereende og 2,65 m<sup>2</sup>/elev innen yrkesfagene, noe som resulterer i en teoretisk størrelse på klasserommene på hhv. 73,5 m<sup>2</sup> og 40 m<sup>2</sup>. (FEF, 2009)

Arealrammene i skoler er ofte knappe, og å skape arealer som er egnet til flere funksjoner og ulike brukergrupper kan derfor gi en stor bruksmessig gevinst (SINTEF Byggforsk, 2009b). Karin Buvik skrev i 2005 at det legges det stor vekt på utforming av flerfunksjonelle rom og finne kombinasjonsløsninger, for eksempel ved å legge musikkrom, scene og kantine sammen eller å kombinere skolebibliotek og folkebibliotek. I en oppdatert versjon av trendene i undervisningsbygg konstaterer Storstrand at sambruk fortsatt er viktig under planlegging av undervisningsbygg (2014).

## 2.3 Materialer

I dette delkapittelet presenteres bygningsmaterialer som er relevante for denne oppgaven.

### 2.3.1 Massivtre

Massivtre er en fellesbetegnelse for sammenkoblede lag av treplanker som er satt sammen til ulike elementer ved hjelp av spiker, skruer, tredybler, lim eller stålstag. Disse elementene kan brukes både som bærende og ikke-bærende elementer i gulv, vegger og tak, og kan bearbeides i ulike fasonger og med utsparinger. Massivtreelementene

produseres innendørs i tørre omgivelser før de fraktes til byggeplass hvor de blir montert som legoklosser. (Norsk Treteknisk Institutt, 2006)

Vanligvis leveres massivtreelementene i tykkelser fra 50-250 mm, med minst tre lag med lameller. Enkelte leverandører opererer med en standard bredde på 1,2 m, men bredere elementer er også mulig. Lengdemessig kan elementene være opp mot 12-13 m lange, og begrenses i hovedsak av transportmuligheter. (Edwardsen og Ramstad, 2014)

Tabell 3 viser orienterende maksimale spennvidder man kan forvente å oppnå for massivtreelementer med ulike tykkelser, basert på det anbefalte komfortkriteriet for etasjeskillere i bolighus. Anvendt som etasjeskillere vil massivtreelementer klare et fritt spenn på opptil 7-7,5 m (TreFokus, 2011).

**Tabell 3: Maksimale spennvidder som kan forventes for massivtreelementer (Edwardsen og Ramstad, 2014)**

Elementtykkelse	Lysåpning i meter
100	3,0-3,5
125	3,3-3,8
150	3,8-4,3
175	4,2-4,7
200	4,5-5,6

I en markedsanalyse gjennomført av Trebruk 014 AS og Trebruk AS anslås det at bygg med massivtre som bærekonstruksjon kan utgjøre 9% av det totale byggmarkedet i Norge i 2024, sammenlignet med dagens nivå på 1,85%. Denne vurderingen bygger på forhold som endringer i tekniske veiledere, karbonavgifter og etablering av norske produsenter. Ved en vurdering av segmentet skoler identifiseres det et økende miljøfokus som påvirker viljen til å velge bygg med gode miljømessige egenskaper, og grunnet massivtreets positive innvirkning på innemiljø vil segmentet se en sterk vekst. Disse fordelene beskrives ytterligere nedenfor. Analysen av skolesegmentet viser at massivtreforbruket i skoler vil utvikle seg fra 38 millioner kroner i 2016 til 255 millioner i 2024, noe som tilsvarer et volum på 29.000 m<sup>3</sup>. (Aasheim og Lier, 2017)

### Fordeler

Valget om å benytte massivtre som bærekonstruksjon i bygninger begrunnes ofte med arkitektoniske, miljømessige og estetiske aspekter. Miljømessig er massivtre et godt valg i forhold til CO<sub>2</sub>, energibruk og innemiljø (TreFokus, 2011).

En av fordelene med massivtre er at det gir en rask montasje, og dermed en kortere byggetid (Rygh, 2018). Både totalkostnaden for prosjektet og CO<sub>2</sub>-utslipp på byggeplass vil bli redusert som følge av denne reduserte byggetiden. Erfaringer viser også at bygging med massivtreelementer er attraktivt for håndverkerne, siden elementene er tørre og rene etter å ha blitt produsert innendørs. Massivtreelementene gir lite støv på byggeplassen, noe som igjen gir et godt arbeidsmiljø (Nordisk Massivtre, u.å). Innendørs produksjon gir redusert fuktighet i elementene, som igjen fører til at uttørkingstiden reduseres til et minimum (TreFokus, 2011). Dette fører til at prosjekt vil oppnå milepælen *rent tørt bygg* tidligere etter oppstart på byggeplass, enn tradisjonelle prosjekter. Prefabrikkerte elementer vil også ha den fordelen med at avfall på byggeplass blir redusert.

Hovedfordelen til massivtre som fremmer dens bruk er positive miljøegenskaper. Tre er en naturlig fornybar ressurs, og elementene bidrar til en mer bærekraftig og miljøeffektiv

bygging. Ved substitusjon av andre byggematerialer kan massivtreelementer bidra til å oppnå store besparelser i klimagassutslipp. Produksjonen av elementene har i tillegg meget lave utslipp av klimagasser. Trevirke betegnes som klimanøytralt da det binder til seg CO<sub>2</sub> fra lufta, og massivtreelementer vil dermed fungere som karbonlagre (Norsk Treteknisk Institutt, 2006).

I tillegg til de nevnte fordelene knytter Norsk Treteknisk Institutt fordeler som stor fleksibilitet ved formgivning, overflater, planløsning og konstruksjon til massivtre som byggemateriale. Ulike treslag og struktur i treverket kan gi spennende overflater i et bygg, og også besparelser knyttet til reduksjon i antall sjikt. Med tanke på fleksibilitet i planløsning og konstruksjon har massivtre en fordel av at lagene ligger i ulike retninger, noe som gjør at elementene har bæring i to retninger og kan ta opp store punktbelastninger. (Norsk Treteknisk Institutt, 2006)

### Utfordringer

En av hovedutfordringene ved å benytte massivtre som materiale i bærekonstruksjon, er å tilfredsstille forskriftskravene til lyd og brann, da det ikke finnes dokumenterte løsninger på dette. Dette manglende kunnskapsgrunnlaget fører til at det ofte prosjekteres nye løsninger for hvert prosjekt (Wahlstrøm, 2019).

Nordisk massivtre, som er en leverandør av massivtre, har identifisert en utfordring knyttet til undervurdert detaljprosjektering (u.å). Som en kan se i figur 5 krever et bygg i massivtre en lengre detaljprosjekteringsfase enn et tradisjonelt bygg, men totaltiden for prosjektet er likevel den samme. En annen av utfordringene som nevnes er også leveringstiden på elementene. Etter at detaljprosjekteringen er fullført av entreprenør videresendes det til leverandør som setter elementene i produksjon. Prosessen fra detaljprosjekteringen er fullført til elementene er ferdig produserte er veldig lang.



**Figur 4: Prosjektering- og gjennomføringsfase i et massivtreprosjekt kontra et tradisjonelt bygg (Nordisk Massivtre, u.å)**

Tildekking av prosjektet i byggeperioden og en utfordring kartlagt av Nordisk Massivtre (u.å). Byggeprosjekter i Norge blir med svært høy sannsynlighet utsatt for regnvær og utsatte elementer burde derfor tildekkes for å hindre at fukt trenger inn i elementene, slik at fordelene med et lavt fuktinnhold bevares.

### 2.3.2 Limtre

Limtre består av styrkesorterte limtre lameller som bygges opp til større massive tverrsnitt. Tverrsnittene består av minst 4 lameller med en tykkelse på ca. 45 mm, eller mindre, og brukes til bærende konstruksjoner som bjelker i etasjeskillere og takkonstruksjoner, veggstendere og søyler. Lamellene limes sammen med et konstruksjonslim som herdes under press. (Edwardsen og Ramstad, 2014)

Limtre har gode styrke- og stivhetsegenskaper sammenlignet med konstruksjonsvirke av samme dimensjon, og har bedre styrke i forhold til vekt enn stål (Crocetti *et al.*, 2015).

Tabell 4 er hentet fra *Trehusboka* (Edvardsen og Ramstad, 2014) og viser orienterende verdier for hvilke maksimale spennvidder man som minimum kan vente å oppnå for limtrebjelker.

**Tabell 4: Maksimale spennvidder som kan oppnås for bjelkelag av limtrebjelker (Edvardsen og Ramstad, 2014)**

Bjelke­dimensjon mm x mm	Lysåpning i meter		
	Bjelkeavstand c/c (mm)		
	300	400	600
36 x 200	3,5	3,2	2,9
36 x 250	4,1	3,9	3,6
36 x 300	4,8	4,5	4,2
48 x 200	3,7	3,4	3,1
48 x 250	4,4	4,1	3,8
48 x 300	5,0	4,8	4,4
70 x 200	3,9	3,7	3,4
70 x 250	4,7	4,5	4,1
70 x 300	5,4	5,1	4,8

## 2.4 Funn i tidligere studentoppgaver

Det har blitt skrevet flere bachelor- og masteroppgaver de siste årene som har undersøkt massivtreprosjekter og problemstillinger knyttet til massivtre som byggemateriale.

Blant disse er masteroppgaven til Gina Marie Schøien Hegle som undersøker prosjekteringsprosessen og utformingen av undervisningsarealene i massivtreskoler. Gjennom intervjuer kartlegger Hegle meninger og erfaringer som sier at prosjekteringen må være ferdig tidligere i massivtreprosjekter, enn i prosjekter med mer tradisjonelle materialer. Hegle identifiserer også et behov for mer samarbeid på tvers av fagene. En viktig bemerkning som gjøres er at sene avgjørelser rundt materialvalget gir store utfordringer for prosjekteringsprosessen i de undersøkte prosjektene. Med tanke på utforming av skolene avdekker oppgaven at lengre spenn og fleksibilitet er mer utfordrende i massivtrebygg enn i bygg som er konstruert i mer tradisjonelle materialer som stål og betong. Hegle finner ingen klar trend i oppbygningen av etasjeskillerkonstruksjonene i de undersøkte prosjektene, men flertallet er utstyrt med en nedsenket himling bestående av lydisolerende materialer.

En masteroppgave som også ble skrevet i 2018 er oppgaven til Torstein Østnor. I oppgaven sammenligner Østnor to boligblokker bygget av Veidekke, hvor den ene blokken ble bygget i plasstøpt betong, og den andre i massivtre. Gjennom studien kartlegges forskjeller ved gjennomføringen av de to prosjektene, og hvordan entreprenøren kan forbedre boligbygging i massivtre. Resultatene fra studien viser at bygging i massivtre krever mer ressurser i alle deler av byggeprosessen, og at det i hovedsak er løsninger knyttet til akustikk- og brannfagene som fører til mer arbeid. Basert på resultatene og erfaringen kartlagt i studien anbefaler Østnor tidligere involvering av rådgivere og prosjekterende for å løse disse utfordringene.

I 2019 skrev Audun Flaget Aasen og Lise-Mari Valle Olsen en bacheloroppgave som undersøker ressursbruken i en rekke Veidekke-prosjekter som følge av et bæresystem i massivtre. Oppgaven konkluderer med at det er økt ressursbruk under prosjekteringen av



massivtreprosjekter grunnet mangel på preaksepterte løsninger og erfaringer. Aasen og Olsen kartlegger også motivasjonen til byggherren for å benytte et bæresystem i massivtre. Gjennom intervjuer kommer det frem at utløsende faktor og motivasjonen for å velge massivtre, kontra tradisjonelle materialer, er knyttet til miljøbetraktninger og ønske om redusert CO<sub>2</sub>-avtrykk. En annen styrende faktor er også økonomi, der fordelene med å benytte massivtre må sees i forhold til merkostnadene ved økt ressursbruk. Aasen og Olsen diskuterer også rundt tidspunktet for beslutningen om å benytte massivtre, og konkluderer med at dette tidspunktet vil få stor betydningen for gjennomføringen av prosjektet. Dette gjelder derimot ikke kun for massivtre, men også andre materialer.

I Fure (2019) undersøkes tidspunktet for materialvalg og tidspunktet for involvering av entreprenør i prosjekter med massivtre. Studien baserer seg på tre skoleprosjekter gjennomført av Undervisningsbygg Oslo KF og resultatene viser at valget om å benytte massivtre burde tas ut fra en egnethet, krav og i samråd med leverandør og rådgiver. Viktigheten av at valget blir tatt før arkitekten begynner å tegne blir påpekt, og begrunnes med at en omprosjektering fra et stål- eller betongbygg til tre, vil være både utfordrende og kostbar. Med bakgrunn i UBFs strenge energi- og miljøkrav, og at de undersøkte prosjektene ikke er komplette, nye skoler, men tilbygg og nybygg i massivtre, anbefaler Fure UBF å gjennomføre skoleprosjektene sine i massivtre i en samspillsfase sammen med sentrale aktører, grunnet prosjektenes kompleksitet og størrelse.

I tillegg til de overnevnte oppgavene som er skrevet direkte knyttet til massivtre som byggemateriale, er det også skrevet flere oppgaver som anses som relevante for denne masteroppgaven. Disse oppgavene tar for seg problemstillinger knyttet til arkitektur og prosjekt – og eiendomsledelse.

Blant disse oppgavene er masteroppgaven til Magnus Rotvold (2018) som undersøker rollen til fysisk fleksibilitet i arkitektkonkurranser om nye skoler. Oppgaven er basert på et fler-case studie av gjennomførte arkitektkonkurranser og resultatene viser at fleksibilitet ikke er utelatt fra konkurransen, men at det ikke er et eget evalueringskriterium, og som oftest heller ikke et eget punkt i byggeprogrammet. Rotvold kartlegger at begrepet fleksibilitet ofte brukes knyttet til planløsningens potensiale for bearbeidelse, og at løsningsforslagene er svake ved beskrivelse av fleksibilitet og viser til få målbare tiltak. I oppgaven konkluderes det med at byggherre må være mer bevisst på hvilke kriterier som stilles i konkurransegrunnlaget for å sikre god fysisk fleksibilitet i skolebygg. På denne måten, ved å stille krav til målbare resultater, kan det settes et minstemål som vil gi et godt sammenligningsgrunnlag mellom konkurranseforslagene

I 2017 ble det skrevet en masteroppgave av Håvard Erslund og Even Langseth Berg med tittelen «Hvorfor velger offentlige byggherrer samspillsentreprise ved bygging av miljøvennlige, innovative skolebygg? – En studie av tidligfasen». Masteroppgaven baserer seg på case-studier av tre kommunale skoleprosjekter i Innlandet, der to av de tre prosjektene er bygd i massivtre. Erslund og Berg konkluderer med at vurdering og valg i tidligfase i stor grad legger føringer for prosjektets fremdrift og suksess. Videre trekkes faktorer som prosjektets tidsramme, størrelse og kompleksitet med fokus på bærekraft og energivalg frem som begrunnelser for valget om å benytte samspillsentrepriser. Alle de intervjuede byggherrene knyttet til de utvalgte prosjektene mener at samspillsentreprise er det rette for fremtidens miljøvennlige og innovative bygg.



## 3 Metode

Metoden kan deles inn i kvantitative og kvalitative metoder, og hjelper oss å samle inn informasjon vi trenger for å foreta undersøkelsene våre (Dalland, 2013, s. 112). Innsamling av numeriske data, spørreundersøkelser og felt- og laboratoriemålinger er eksempler på kvantitative metoder, og disse gir oss data i form av målbare enheter. De kvalitative metodene gir, på den andre siden, muligheten til å identifisere og kartlegge meninger, holdninger og opplevelser som ikke lar seg tallfeste, gjennom dokumentstudier, observasjoner og intervjuer. (Engbø, 2019)

### 3.1 Valg av forskningsmetode

Olav Dalland skriver i boken *Metode og Oppgaveskriving* at «Begrunnelsen for å velge én bestemt metode er at vi mener den vil gi oss gode data og belyse spørsmålet vårt på en faglig interessant måte.» (2013, s. 111)

Med dette mener Dalland at man må velge en metode som på best måte belyser ens problemstilling, og at en metode som er egnet for et prosjekt nødvendigvis ikke er egnet for andre prosjekt. I boken *Hvordan gjennomføre undersøkelser* skriver Jacobsen at det perfekte undersøkelsesopplegget ikke finnes, men at det ideelle kan oppnås ved å kombinere ulike metoder, ved at styrker ved en metode kan kompensere for svakheter ved den andre (2015, s.121). Å benytte flere metoder på denne måten kalles triangulering, eller metodetriangulering (Jacobsen, 2015, s.121), og Yin (2014) skriver også at dataenes reliabilitet og validitet styrkes ved å benytte flere metoder.

I denne oppgaven er litteraturstudie og casestudie benyttet som de primære metodene, og dokumentstudie og intervjuer som sekundære metoder. Litteraturstudiet ble benyttet for å få en bred forståelse og kunnskap om emnet, og for å kartlegge forskning som er gjort for å identifisere kunnskapsgapet som masteroppgaven kan være med på å tette. Casestudiene baserte seg på et utvalg kommuner og fylkeskommuner som har gjennomført skoleprosjekter i massivtre, med et tilhørende utvalgt undervisningsbyggprosjekt i massivtre. Intervjuene i casestudiene ble gjennomført for å identifisere og kartlegge erfaringer og holdninger rundt skoleprosjekter i massivtre, samt hvordan tilpasningsdyktigheten i et undervisningsbygg blir påvirket av å benytte massivtre i bærekonstruksjonen. Gjennom dokumentstudiene ble de forskjellige kommunenes og fylkeskommunenes krav til tilpasningsdyktighet kartlagt, samt hvordan disse kravene påvirker den bygningsmessige utformingen av undervisningsbyggene.

### 3.2 Litteraturstudie

En litteraturstudie er et innledende kildesøk og har som mål å gi et bilde av hva som allerede er skrevet om temaet (Dalland, 2013, s.68). Litteraturstudiet til denne oppgaven ble gjennomført høsten 2019 i faget TBA4128 Prosjektledelse, videregående kurs.

Siden temaet i denne oppgaven, *tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg i massivtre*, er veldig konkret og snever, ble litteraturstudiet gjennomført med mer generelle søkeord som; *massivtre i bygninger* og *tilpasningsdyktighet i bygninger*. Litteratursøket ble gjennomført med både norske og engelske søkeord, og med ulike varianter og spesifiseringer, se vedlegg 1. Norske søkeord ble benyttet i databasene Oria og Google

Scholar, mens engelske søkeord ble benyttet ved bruk av Scopus og Web of Science. For å redusere antall søketreff ble også innebygde filtre i søkemotorene brukt. I Scopus og Web of Science ble søket ytterligere komprimert ved bruk av filteret *etter 2015*, for å finne de nyeste kildene.

Ut fra søketreffene ble kildene plukket ut etter relevans ved en vurdering av tittel, år og nøkkelord. Videre ble kildene evaluert etter troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet, i henhold til TONE-prinsippet, se vedlegg 2. Troverdighet baserer seg på at man kan stole på informasjonen, og handler om hvem forfatteren er, og om han/hun kan knyttes til en anerkjent institusjon. Objektivitet handler om hvordan dataene er presentert, om flere sider av saken er belyst og om innholdet stemmer med tidligere forskning. Prinsippet om nøyaktighet er knyttet til forskningsmetodikken, om dataene er etterprøvbare og om kildene som er brukt er troverdige og relevante. Det siste prinsippet om egnethet handler om kilden passer til formålet den er tenkt til og dekker behovene. (Overland, 2018)

Noen av kildene ble også anbefalt av veileder, og ikke funnet via søk i databaser. Disse kildene er evaluert etter de samme prinsippene.

### 3.3 Casestudier

I boken *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* skriver Dag Ingvar Jacobsen at det ikke finnes noen felles og klar forståelse for hva en case er, men felles for alle definisjonene er at det er en inngående studie av en, eller noen få, undersøkelsesenheter (2015, s. 97). I denne studien er det valgt å benytte en flercase-studie av et utvalg kommuner og fylkeskommuner, med tilhørende utvalgte undervisningsbygg i massivtre. Jacobsen skriver at et undersøkelsesopplegg som studerer to eller flere caser kan bøte på svakhetene som enkeltcase-studier har, men jo flere caser man undersøker, desto mindre mulighet får man til å gå i dybden (2015, s. 102). Det er gjennomført fem casestudier i denne studien, av hhv. Bergen, Oslo og Trondheim kommune, og Møre og Romsdal og Nordland fylkeskommune.

#### 3.3.1 Valg av casestudier

Det finnes to typer design av casestudier som kan benyttes; mest mulig like caser og mest mulig ulike caser. I begge typer design må det bevisst velges ut caser for sammenligning ut fra hvordan de scorer på et sett definerte dimensjoner, noe som krever god kunnskap om casene før vi velger dem ut. For å velge ut caser til studiet ble det først gjennomført en utvalgsundersøkelse. En utvalgsundersøkelse baserer seg på at det finnes en populasjon, og at man kan studere denne ved å ta et utvalg fra denne populasjonen (Jacobsen, 2015). I denne studien er populasjonen kommuner og fylkeskommuner i Norge som har bygget undervisningsbygg i massivtre. Utvalgsundersøkelsen ble gjennomført ved at det først ble satt opp en oversikt over undervisningsbygg i Norge som inneholder massivtre, se vedlegg 3, ved hjelp av generelle søk på google. Oversikten inneholdt navn på skole og byggherre, type prosjekt og areal, samt en beskrivelse av bruk av materialer i bæresystem og annen relevant informasjon. I tillegg til dette ble det undersøkt hvilke av byggherrene som har egne generelle kravspesifikasjoner eller prosjekteringsanvisninger for nybygg. I tabell 5 vises en oversikt over de utvalgte kommunene og fylkeskommunene, med tilhørende undervisningsbygg i massivtre.

**Tabell 5: Oversikt over casestudie-objekter med tilhørende underobjekt**

<b>Kommune/ Fylkeskommune</b>	<b>Undervisningsbygg</b>
Bergen kommune	Ulsmåg skole
Oslo kommune	Prinsdal skole
Trondheim kommune	Lade skole
Møre og Romsdal fylkeskommune	Romsdal vgs.
Nordland fylkeskommune	Hadsel vgs.

Nordland fylkeskommune er den eneste av casestudie-objektene som ikke har en egen kravspesifikasjon, eller prosjekteringsanvisning. Gjennom utvalgsundersøkelsen ble det kartlagt at det er langt færre videregående skoler som er bygget i massivtre enn grunnskoler, og Nordland fylkeskommune og Hadsel vgs. ble valgt for å øke oppgavens generalitet, til tross for at ett av utvalgskriteriene ikke var oppfylt.

### 3.3.2 Dokumentstudie

Dokumentstudie består av innsamling, behandling og tolkning av sekundærdata, og er en kvalitativ metodeform (Jacobsen, 2015, s. 170). Disse sekundærdataene er allerede eksisterende dokumenter som er produsert til et annet formål enn forskning.

I denne oppgaven ble kravspesifikasjoner og prosjekteringsanvisningene til de utvalgte kommunene og fylkeskommunene analysert, samt dokumenter knyttet til de utvalgte prosjektene. Dokumentene som ble studert i forbindelse med de utvalgte prosjektene var primært forprosjekt, skisser og snitt- og plantegninger. Dokumentene ble fremskaffet ved å ta kontakt med ledere på avdeling for eiendom/utbygging i de utvalgte kommunene og fylkeskommunene. I tabell 6 kan en se hvilke dokumenter som ble tilsendt fra de utvalgte kommunene og fylkeskommunene. For prosjektene tilknyttet Oslo kommune og Nordland fylkeskommune ble det, i tillegg til dokumentene beskrevet i tabellen, gitt tilgang til det digitale prosjekthotellet, hvor alle dokumentene på tvers av aktører tilknyttet prosjektene ligger. Grunnet tidsbegrensninger ble kun dokumenter som ble ansett som relevante undersøkt.

**Tabell 6: Mottatte dokumenter**

<b>Caser / Dokumenter</b>	<b>Generelt</b>	<b>Prosjektspesifikt</b>	
	<b>Prosjekterings-anvisning</b>	<b>Plantegninger</b>	<b>Forprosjekt</b>
<b>Trondheim kommune</b>	X		X
<b>Bergen kommune</b>	X	X	
<b>Oslo kommune</b>	X	X	
<b>Møre og Romsdal fylkeskommune</b>	X		X
<b>Nordland fylkeskommune</b>		X	

Selv om det i alle henvendelsene ble etterspurt den samme dokumentasjonen var den mottatte dokumentasjonen forskjellig. De samme analysene ble utført, men grunnet mangel på informasjon kunne ikke alle analysene gjennomføres.

Det ble utført følgende analyser av de innsamlede prosjektspesifikke-dokumentene:

- De bærende elementene, vegger og søyler, ble kartlagt
- Kartlegging av etasjehøyder
- Kartlegging av installasjonsplass over himling, både i klasserom og korridor, samt vertikale sjakter
- Kartlegging av bygningsbredde og bredde på kommunikasjonsveier
- Kartlegging av tomt og tomteforhold

Avstandsmålingsmålingene som ble gjennomført i noen av analysene ble utført manuelt og vil inneha en viss feilmargin. Målingene ble gjennomført ved at det ble foretatt flere målinger, der gjennomsnittet av målingene er benyttet som resultat.

### 3.3.3 Intervjuer

I boken *Case Study Research – Design and Methods* skriver Robert K. Yin at intervju er en av de viktigste metodene for innsamling av data i casestudier (2014, s.110), og Dalland skriver i sin bok at et godt intervju gir oss verdifullt materiale som på en relevant måte kan belyse problemstillingen (2013, s.176). Intervju som metodeform er en verdifull kilde til unik informasjon, og er med på å identifisere erfaringer og meninger som ikke ville blitt oppdaget ved hjelp av andre metodeformer.

I denne studien ble det gjennomført 12 intervjuer med tre forskjellige aktører. To av intervjuene ble gjennomført som et strukturert spørreskjema på mail grunnet tidsbegrensninger hos intervjupersoner.

For å belyse spørsmålene om tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg generelt ble prosjektutviklere- og ledere i de utvalgte kommunene og fylkeskommunene intervjuet, samt rådgivende ingeniører bygg som hadde vært med på de utvalgte prosjektene. I tillegg til disse ble det gjennomført intervju med to massivtre- og limtreleverandører. Leverandørene som ble intervjuet var Woodcon og Splitkon, som var leverandører til tre av de utvalgte prosjektene. Woodcon var leverandør på Lade skole og Romsdal vgs., mens Splitkon var leverandør på Prinsdal skole.

**Tabell 7: Oversikt over intervjupersoner med tilknytning til case**

<b>Kommune/ Fylkeskommune</b>	<b>Byggherrerepresentant</b>	<b>Rådgiver</b>
Bergen kommune	Prosjektleder i Bergen kommune	RIB i H2 Byggeteknikk
Oslo kommune	Prosjektleder og -utvikler i UBF	RIB i Bjørnstad Prosjektering
Trondheim kommune	Prosjektleder i Trondheim kommune	RIB i Multiconsult
Møre og Romsdal fylkeskommune	Prosjektleder i Hammerø & Storvik, på vegne av fylkeskommunen	RIB i WSP
Nordland fylkeskommune	Prosjektleder i Nordland fylkeskommune	RIB i Nordland Teknikk AS

## **Forberedelse**

Utvelgelsen av intervjupersonene ble gjort i lys av forskningsspørsmålene. I samarbeid med ekstern veileder fra UBF, og intern veileder på NTNU, ble det konkludert med at intervju av prosjektutviklere ville være mest formålstjenlig for å svare på spørsmålene om behovet for tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg. Videre ble det konkludert med at rådgivende ingeniører bygg ville være mest hensiktsmessig å intervju i forbindelse med de bygningstekniske parameterne og utformingen av undervisningsbyggene, og leverandører for spesialkompetanse om massivtre og dets begrensninger og utfordringer med tanke på tilpasningsdyktigheten.

For å finne intervjupersonene på byggherresiden til intervju ble ledere ved avdeling for utbygging/eiendom hos de utvalgte kommunene og fylkeskommunene kontaktet. I én kommune ble henvendelsen sendt til én prosjektutvikler, mens i de resterende kommunene ble henvendelsen om intervju videresendt til prosjektlederne på de utvalgte prosjektene. Intervju av rådgivende ingeniørene bygg ble avtalt ved å kontakte de ulike firmaene som hadde hatt ansvar for den bygningstekniske prosjekteringen i de utvalgte prosjektene, mens intervju av massivtreleverandører ble gjennomført ved å kontakte to av aktørene som hadde vært en del av de utvalgte skoleprosjektene. Disse to aktørene ble valgt ut med bakgrunn i erfaring med undervisningsbygg.

I forkant av intervjuene ble det utarbeidet to intervjuguider, se vedlegg 4 og 5, én for byggherrer og RIB, og én for massivtreleverandører. Disse ble sendt ut til intervjupersonene på forhånd. Dette ble gjort for å sørge for at det ble innhentet tilstrekkelig informasjon, og at intervjupersonene skulle ha mulighet til å forberede seg og tenke gjennom spørsmålene på forhånd.

## **Gjennomføring**

Grunnet en pågående pandemi, samt en stor geografisk spredning av intervjupersonene, ble intervjuene gjennomført over videoplattformen Teams eller e-post. Totalt ble det gjennomført 12 intervjuer, hvor to av disse ble gjennomført over e-post grunnet tidsbegrensninger. Ved å gjennomføre intervjuene som en videosamtale sikres det en god flyt i samtalen, samt god konsentrasjon rundt samtalen. En av ulempene ved å benytte videosamtale sammenlignet med et møte ansikt-til-ansikt er knyttet til etablering av tillitt og åpenhet mellom intervjuperson og intervjuer (Jacobsen, 2015, s. 148). Gjennomføringen av intervju over e-post er svak på etablering av tillit og informasjonen er i stor grad komprimert, men intervjuobjektene har derimot lengre tid til å reflektere over spørsmålene.

Alle intervjuene startet med å gi en generell informasjon om masteroppgaven og hva målet med intervjuene var. For å være bedre fokusert og ikke bruke tid til å notere underveis i intervjuet, ble det i starten av intervjuet bedt om tillatelse til å ta opp intervjuene.

Intervjuene som ble gjennomført over Teams ble gjennomført som semi-strukturerte intervju, ved at de fulgte strukturen i intervjuguiden. En pre-strukturering av intervjuene innebærer at man på forhånd bestemmer seg for ulike temaer intervjuene skal konsentrere seg om (Jacobsen, 2015, s. 149). En slik pre-strukturering betyr ikke nødvendigvis at datainnsamlingen lukkes da det er mulig å avvike fra intervjuguiden for å stille oppfølgingsspørsmål der det er relevant, eller stryke spørsmål som allerede har blitt besvart i tidligere spørsmål.

## Etterarbeid

I etterkant av intervjuene ble det gjennomført en transkribering av intervjuene ved hjelp av opptakene. Transkribering gir en mulighet til å gjenoppleve intervjuet og handler om å bevare mest mulig av det som opprinnelig skjedde under intervjuet, og er et viktig hjelpemiddel for videre tolkning (Dalland, 2013, s.179). I etterkant av transkriberingen ble resultatene inndelt i ulike tema som var aktuelle for problemstillingen og forskningsspørsmålene. Inndeling av resultatene i tema ble gjort for å enklere kunne analysere resultatene og sammenligne hva de ulike personene sa om de samme temaene.

### 3.4 Reliabilitet og validitet

Det finnes en rekke metoderegler og kunnskapskrav, og en av disse er at metodene skal gi troverdig kunnskap. I korte trekk betyr dette at kravene til reliabilitet og validitet må være oppfylt. (Dalland, 2013, s. 52)

#### 3.4.1 Reliabilitet

Reliabilitet handler om pålitelighet. Datainnsamlingen må være utført korrekt, og eventuelle feilmarginer påpekes (Dalland, 2013, s.40). Dette vil si at undersøkelsene skal være gjennomført på en troverdig måte og beskrevet slik at en annen person skal kunne gjennomføre undersøkelsen på samme måte, og oppnå samme resultat. I denne masteroppgaven vil dokumentstudiet og litteraturstudiet ha en høyere grad av reliabilitet enn intervjuene. Intervjuene vil skape spesielle resultater avhengig av intervjuers tilstedeværelse og samspillet mellom intervjuer og informant. Dette vil påvirke mengde og kvalitet av informasjon og dermed svekke reliabiliteten. For å styrke reliabiliteten til informasjonen fra intervjuene ble intervjuene tatt opp og transkribert, samt at det ble stilt oppklaringsspørsmål om noe var uklart. Et godt utvalg av informanter er også viktig for å sikre reliabiliteten til oppgaven.

#### 3.4.2 Validitet

Validitet handler om relevans og gyldighet. Målingene som foretas må være relevante og gyldige for det problemet som undersøkes (Dalland, 2013, s.40). For å styrke validiteten til oppgaven ble kildene fra litteraturstudiet evaluert i henhold til TONE-prinsippet om troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet.

Det valgte undersøkelsesopplegget har store konsekvenser for oppgavens validitet, og er knyttet til at de valgte metodene skal være de som er best egnet til å belyse oppgavens problemstilling. Validitet er knyttet til intern og ekstern gyldighet, hhv. kausalitet og generalitet (Jacobsen, 2015, s. 68). For å styrke oppgavens eksterne gyldighet, og for å kunne generalisere funnene fra studien, ble flere kommuner og fylkeskommuner med geografisk spredning undersøkt. Nordland fylkeskommune, som var en av de utvalgte fylkeskommunene, har ingen egen prosjekteringsanvisning eller kravspesifikasjon slik som de andre utvalgte kommunene og fylkeskommunene, men ble inkludert for å øke oppgavens mulighet for å generalisere funnene. Undersøkelsesopplegget i denne studien baserer seg på teoretisk generalisering som er knyttet til å studere noen få caser og danne en mer generell teori om hvordan ting henger sammen gjennom et intensivt opplegg. Et slikt opplegg studerer mange variabler, men relativt få enheter, og er virkelighetsnære og har en stor grad av intern gyldighet (Jacobsen, 2015). Jo flere caser vi undersøker, desto større blir mulighetene til å generalisere funnene våre til andre kommuner og fylkeskommuner, samt undervisningsbygg, som vi ikke studerer.



På grunn av avgrensning av oppgaven vil resultatene ikke kunne generaliseres til å gjelde alle og hele undervisningsbygg, da studiet i første omgang kun har tatt utgangspunkt i de generelle undervisningsrommene. Både grunnskoler og videregående skoler inneholder spesialrom utover de generelle undervisningsrommene, spesielt videregående skoler inneholder større verkstedhaller. Det er derimot de generelle undervisningsarealene som oftest har behov for endringer ved fornyelse av skolereformene og endrede undervisningsformer, og som i større grad har behov for å være tilpasningsdyktige. Siden massivtre som byggemateriale fortsatt er ganske nytt på markedet, og forventes å bli mer brukt i fremtiden (Aasheim og Lier, 2017), er dette nyttig informasjon som vil være med på å styrke oppgavens validitet.

### 3.5 Konferanseartikkel

I tillegg til arbeidet med selve masteroppgaven vil hovedfunnene fra studien publiseres som en konferanseartikkel på den internasjonale forskningskonferansen CIRRE 2020. Konferansen var planlagt holdt i Nederland 17.-18. september, men grunnet COVID-19 blir det ingen fysisk gjennomførelse av konferansen. Artikkelen vil, uavhengig av avlysning, publiseres i henhold til konferanseprosedyren. Et sammendrag av artikkelen er lagt ved som vedlegg 6.



## 4 Resultat

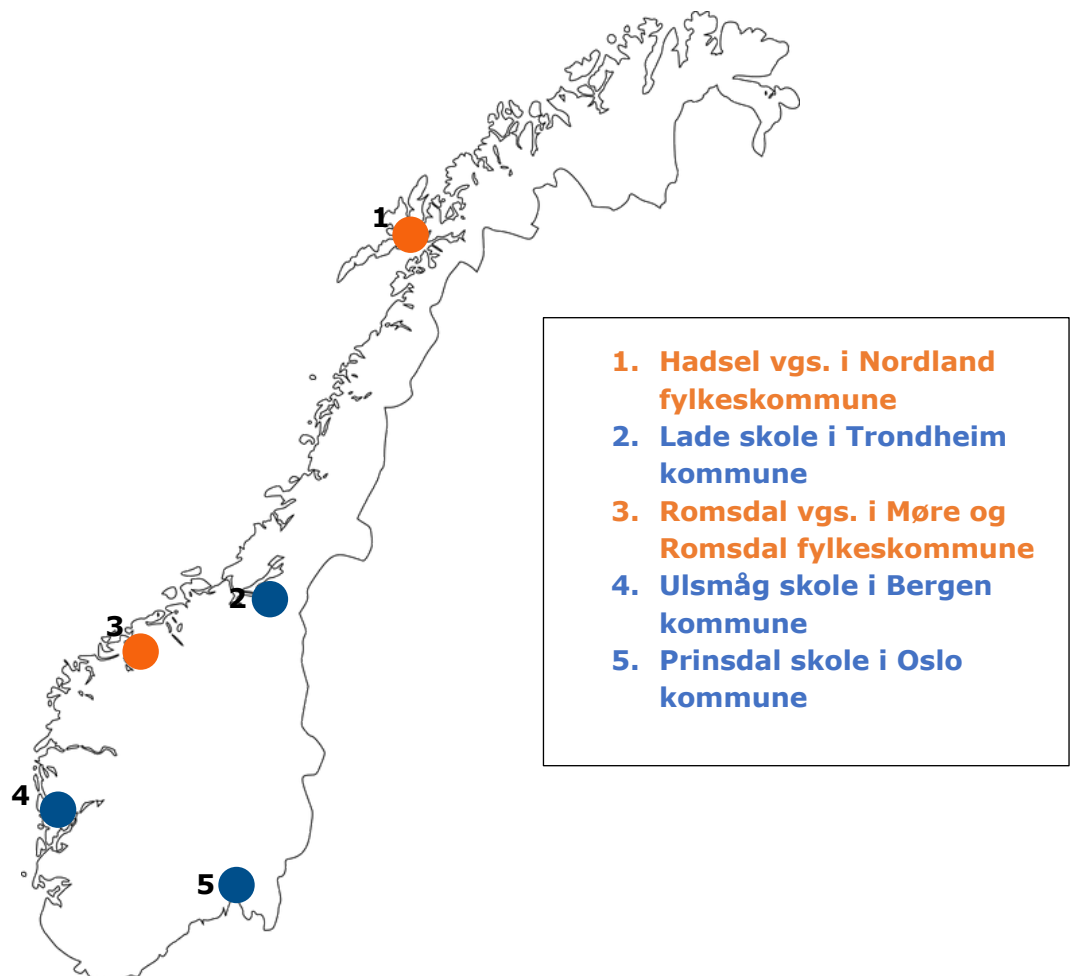
I dette kapittelet presenteres de innsamlede dataene fra casestudiene.

### 4.1 Beskrivelse av casestudier

Dette delkapittelet vil presentere de fem kommunene og fylkeskommunene, samt de tilhørende undervisningsbyggene, som er analysert i denne masteroppgaven.

#### 4.1.1 Oversikt over casestudier

Figur 5 viser beliggenheten til de undersøkte undervisningsbyggene til de utvalgte kommunene og fylkeskommunene i Norge, markert med blått og oransje. Blått representerer undervisningsbyggene tilknyttet kommunene, mens undervisningsbyggene tilknyttet fylkeskommunene er markert med oransje.



Figur 5: Geografisk plassering av case studie-objekter

### 4.1.2 Bergen kommune

Ansvar for å gjennomføre nybygg og større rehabiliteringsprosjekter for Bergen kommune ligger hos etat for utbygging, som er en av de største utbyggerne i Bergen. Bergen kommune har gjennom sin klima- og energihandlingsplan satt seg et mål om å være klimanøytrale innen 2030. Et av tiltakene for å nå dette målet er en fossilfri byggesektor, og det fremkommer av planen at det skal utredes bærekraftige materialvalg og energiløsninger, samt at det skal utarbeides klimagassregnskap for alle prosjekter. (Bergen kommune, 2016a).

I tillegg til sin klima- og energihandlingsplan gjennomførte Bergen kommune prosjektet *TID for TRE i fremtidens Bergen* i perioden 2009-2014, som et delprosjekt under prosjektet *Framtidens byer*. Prosjektet var et samarbeid mellom fylkesmannen, fylkeskommunen og Bergen kommune, og innebar en bred satsing på tre og fokus på ny, klimavennlig arkitektur og byforming. (Iversen, 2011)

#### Utvalgt prosjekt: Ulsmåg skole



Figur 6: Illustrasjon av Ulsmåg skole (Ola Roald AS, u.å)

Tabell 8: Generell informasjon om Ulsmåg skole

Prosjekt	Ulsmåg skole
Type skole, bygg	Barneskole, ny skole
Sted	Midtun i Fana bydel i Bergen
Entrepriseform	Delte entrepriser
Byggherre	Bergen kommune
Entreprenør	NCC Construction AS (hovedentreprenør)
RIB	H2 Prosjektering
Arkitekt	Ola Roald AS Arkitektur
Massivtre- og limtreleverandør	Moelven limtre/ Massiv Lust
Kontraktsum/ Prosjektkostnad	115 MNOK eks. mva/ 275 MNOK inkl. mva
Ferdigstillelsesdato	Desember 2014
Bruttoareal	6.804 m <sup>2</sup>
Antall etasjer	2
Antall elever	600

Ulsmåg skole er en barneskole på Midtun i Fana bydel i Bergen som opprinnelig ble bygget i 1971. Byggingen av nye Ulsmåg skole var byens første skolebygg i massivtre. Skolen består av hjemmeområder med formidlingsrom, grupperom, lærerrom, garderober, toaletter og egen inngang. Omtrent midt i bygget ligger en åpen foaje med direkte tilgang til flerbrukshall, auditorium og bibliotek. Konstruksjonsmessig er skolen delt opp i to med bærende massivtrevegger i alle fasader, samt søyler og dragere i limtre i skolens indre. Utvendige vegger og bærende vegger i flerbrukshallen, søylerader inne i bygget og tekniske rom på taket er i massivtre. Dragerne er i limtre og innvendige vegger er i tre med panel. (Dale, 2015)

#### 4.1.3 Oslo kommune

Ansvaret for å utvikle, bygge, drifte og forvalte undervisningsbygg i Oslo kommune ligger hos Undervisningsbygg Oslo KF (UBF). UBF forvalter omtrent 1,4 millioner kvadratmeter, fordelt på 167 skoler og 750 bygninger, og er Oslos største eiendomsforvalter. (Oslo kommune, u.å-b)

For å bidra til det grønne skiftet, med mål om et nullutslippssamfunn i 2050, har UBF utviklet en miljø- og energistrategi for 2018-2020. Målet med strategien er å gi et helhetlig og bredt perspektiv på aktivitetene deres, med fokus på synliggjøring av solide og varige løsninger. Et av disse satsningsområdene er at prosjektene skal ha som mål å redusere klimagassutslippet med minimum 40% sett i forhold til dere referansebygg (UBF, 2018).

#### **Utvalgt prosjekt: Prinsdal skole**



**Figur 7: Illustrasjon av nytt tilbygg ved Prinsdal skole (SPINN Arkitekter, 2020)**

**Tabell 9: Generell informasjon om Prinsdal skole**

Prosjekt	Prinsdal skole
Type skole	Barneskole, tilbygg
Sted	Søndre Norstrand i Oslo
Entrepriseform	Generalentreprise
Byggherre	Oslo kommune
Entreprenør	ØMF Asker Entreprenør
RIB	Bjørnstad Prosjektering
Arkitekt	Spinn Arkitekter
Massivtre- og limtreleverandør	Woodcon
Kontraktsum/ Prosjektkostnad	52 MNOK
Ferdigstillelse	September 2019
Bruttoareal	1350 m <sup>2</sup> ?
Antall etasjer	3
Antall elever	470

Prinsdal skole er en barneskole som ligger i Søndre Nordstrand bydel. Prosjektet på Prinsdal omfatter et tilbygg til den eksisterende skolen som en erstatning for den tidligere paviljongen, som var av utgående kvalitet. Tilbygget regnes som et passivhus og ble bygget etter TEK10-standarder, og var et pilotprosjekt for bruk av massivtre-konstruksjon for UBF sine skoler. (Oslo kommune, 2017)

Tilbygget inneholder seks klasserom med egen garderobedel og et spesialundervisningsrom for naturfag, samt kontorlokaler for skoleadministrasjonen. Det er etablert gjennomgang mellom nytt og gammelt bygg i alle etasjer. Tilbygget er utelukkende bygget i tre med massivtreelementer og limtre, samt at både fasader og tak er kledd i tre. Det er benyttet betong i grunnplaten og som påstøp i gulv i teknisk rom i tredje etasje, med bakgrunn i lydkravene. (Brekkehus, 2019)

#### 4.1.4 Trondheim kommune

Trondheim kommune ligger i Trøndelag fylke og er den tredje mest folkerike kommunen i Norge (Trondheim kommune, 2020). Det overordnede ansvaret for bygningene som Trondheim kommune eier, ligger hos Trondheim Eiendom. Utbyggingsavdelingen, som ligger under Trondheim Eiendom, er ansvarlig for formålsbyggene til kommunen, som omfatter barnehager, skoler, sykehjem, kultur- og idrettsbygg. (Trondheim kommune, u.å)

I vedtaket til kommunedelplan for energi og klima 2017-2030 nedfelte Trondheim kommune en visjon om at «Trondheim kommune skal være en internasjonal foregangskommune for utvikling av gode klima og miljøløsninger.» (Trondheim kommune, 2018). Et av områdene som påpekes i miljøstrategien er klimafotavtrykkene til byggene, og kommunen har som mål å redusere klimafotavtrykket med 30% i forhold til referansebygg. Det understrekes at klimagassregnskap skal brukes aktivt i prosjektering i større prosjekter, og at det sammen med andre kriterier, skal gi grunnlag for valg som må tas. (Trondheim kommune, 2018)

Et annet av satsningsområdene i miljøstrategien er bruk av fornybare materialer med lavt klimafotavtrykk, og fornybar materialbruk skal vurderes i alle kommunale byggeprosjekter (Trondheim kommune, 2018). Trondheim kommune har gjennom prosjektet TREbyenTrondheim, som er et byutviklingsprosjekt, bidratt til at Trondheim er i front med

å bygge i tre i større prosjekter. Prosjektet innebærer å initiere et bredt spekter av ulike forbildeprosjekter i tre, både i form av bygge- og utviklingsprosjekter, transformasjoner og reparasjoner av eldre bygg, men også kunstinstallasjoner, utsmykninger og temporære byprosjekter (Trondheim kommune, 2011).

### Utvalgt prosjekt: Lade skole



**Figur 8: Illustrasjon av nye Lade skole (Eggen Arkitekter, u.å)**

**Tabell 10: Generell informasjon om Lade skole**

Prosjekt	Lade skole
Type skole	Barneskole, ny skole
Entrepriseform	Totalentreprise
Byggherre	Trondheim kommune
Entreprenør	BetonmastHæhre Trøndelag
RIB	Multiconsult
Arkitekt	Eggen Arkitekter
Massivtre- og limtreleverandør	Woodcon
Kontraktsum/ Prosjektkostnad	270 MNOK eks. mva/ 382 MNOK inkl. mva
Ferdigstillelse	2018
Bruttoareal	10.742 m <sup>2</sup>
Antall etasjer	2-3
Antall elever	700 + 40 minoritetspråklige

Lade skole er en ny barneskole for 700 elever med egen avdeling for 40 minoritetspråklige elever, samt idrettshall. Skolen er bygget med to fløyer, med idrettshall, administrasjon og 5.-7.trinn mot vest og en fløy med 1.-4.trinn mot øst. Fløyene er i to etasjer med inntrukket 3.etasje. Taket over idrettshallen er knyttet til terrenget vest for bygget og supplerer skolens tilgang til utendørs aktivitetsområder. Klasserommene på Lade skole er dimensjonert for 25 elever og koblet sammen to og to, delt med skyve/foldedører. (Andersen, 2018)

Et kjennetegn ved Lade skole er utstrakt bruk av tre som byggemateriale. Det er i hovedsak benyttet limtre i søyler og dragere i bygget, med unntak av i vestibylområdet, noen bærende vegger i massivtre, samt dekker i massivtre. (Andersen, 2018)

#### 4.1.5 Møre og Romsdal fylkeskommune (MRF)

Bygg- og eiendomsavdelingen i MRF har ansvar for forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling av den fylkeskommunale bygningsmassen. I all hovedsak består bygningsmassen av videregående skoler, men fylkeskommunen leier i tillegg annet areal til andre tjenester. (Møre og Romsdal fylkeskommune, 2019)

##### Utvalgt prosjekt: Romsdal vgs.



Figur 9: Illustrasjon av nybygg til Romsdal vgs. (Hus Arkitekter, 2014)

Tabell 11: Generell informasjon om Romsdal vgs.

Prosjekt	Romsdal vgs.
Type skole	Videregående skole, nybygg
Sted	Molde
Entrepriseform	Totalentreprise med samspill
Byggherre	Møre og Romsdal fylkeskommune
Entreprenør	Betonmast Røsand
RIB	WSP/ Høyer Finseth?
Arkitekt	Hus Arkitekter/ Kosbergs Arkitektkontor
Massivtre- og limtreleverandør	Woodcon
Kontraktsum/ Prosjektkostnad	250 MNOK / 510,4 MNOK
Ferdigstillelse	2017
Bruttoareal	12.000 m <sup>2</sup>
Antall etasjer	3
Antall elever	950

Romsdal videregående skole ligger i Molde i Møre og Romsdal fylke. Omtrent to tredjedeler av elevene på skolen får yrkeskompetanse, mens den resterende tredjedelen får studiekompetanse. Hvert år går det ca. 800 elever ved Romsdal vgs., fordelt på seks ulike utdanningsprogrammer. Skolen har utdanningsprogram for; bygg- og anleggsteknikk, design og håndverk, elektrofag, helse- og oppvekstfag, idrettsfag, service og samferdsel, teknikk og industriell produksjon og påbygging til studiekompetanse. (Romsdal vgs., u.å)



Romsdal vgs. består i dag av tre eldre bygninger i tillegg til nybygget. Nybygget er bygget etter passivhusstandard og massivtre er brukt som materiale både utvendig og i innredninger. (Herskedal, 2017)

#### 4.1.6 Nordland fylkeskommune

Nordland er Norges nest største fylke, og har 25% av Norges kystlinje (Vognild, 2016). Eiendomsseksjonen er en del av økonomiavdelingen i Nordland fylkeskommune, og har ansvar for å ivareta eieransvaret for fylkeskommunens bygg og eiendommer. Bygningsmassen til fylkeskommunen består av totalt 138 videregående skoler, som utgjør en bygningsmasse på ca. 269.000 brutto m<sup>2</sup> (Nordland fylkeskommune, u.å).

I henhold til *Regional plan – klimautfordringene i Nordland 2011-2020* skal fylkeskommunen «Bidra til å informere om bruken av treprodukter (byggvare) som klimatiltak.» (Nordland fylkeskommune, 2014)

#### Utvalgt prosjekt: Hadsel vgs.



Figur 10: Illustrasjon av tilbygg til Hadsel vgs.

Tabell 12: Generell informasjon om Hadsel vgs.

Prosjekt	Hadsel vgs.
Type skole	Videregående skole, nybygg
Sted	Stokmarknes
Entrepriseform	Generalentreprise
Byggherre	Nordland fylkeskommune
Entreprenør	Peab Bjørn Bygg
RIB	Nordland Teknisk AS
Arkitekt	Vis á Vis Arkitekter
Massivtre- og limtreleverandør	Cross Timber Systems
Kontraktsum/ Prosjektkostnad	119 MNOK eks. mva
Ferdigstillelse	2019
Bruttoareal	3.775 m <sup>2</sup>
Antall etasjer	4
Antall elever	300

Hadsel vgs. består av et studiestedene Melbu og Stokmarknes og har totalt omlag 500 elever. Skolen tilbyr ni utdanningsprogrammer; bygg- og anlegg, design og håndverk, elektro, TIP, frisør, studiespesialisering, helse- og oppvekstfag, informasjonsteknologi og medieproduksjon, samt landslinje for yrkessjåfører. Skolebygget på Stokmarknes tilbyr utdanningsprogrammene studiespesialisering, helse- og oppvekstfag og informasjonsteknologi og medieproduksjon, mens de andre yrkesfaglige linjene hører til studiestedet i Melbu. (Hadsel videregående skole, 2019).

Nybygget ved Hadsel videregående skole i Stokmarknes er bygd i massivtre og limtre i både bærende konstruksjoner og etasjeskillere, kombinert med ordinære bindingsverkkonstruksjoner i tre. Dekkekonstruksjonene er i massivtre med lydisolasjon og påstøp. (Nordland fylkeskommune, 2016)

I prosjektet er det, i tillegg til utstrakt bruk av tre, lagt inn klima- og miljøeffektive deler i prosjektet. På nybygget er det 600 kvm med solcellepaneler som skal kunne produsere inntil 50 000 kWh årlig, samt at 80% av energien i ventilasjonsluften gjenvinnes. (Nordland fylkeskommune, 2017)

## 4.2 Intervju

I dette delkapittelet presenteres resultatene fra intervjuene.

### 4.2.1 Byggherrer

For å gi en enklere oversikt over resultatene fra intervjuene presenteres de etter samme tema som intervjuguiden; tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg, viktige bygningstekniske parametere og fordeler og ulemper med massivtre.

#### **Tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg**

Et av spørsmålene i intervjuguiden var knyttet til hvorvidt tilpasningsdyktighet er viktig og i fokus hos de intervjuede byggherrene. På dette svarte prosjektutvikleren i UBF at det er svært viktig, og begrunnet dette med at en skole alltid vil ha behov for ekstra grupperom eller undervisningsrom, og behovene og gjennomføringen av undervisningen alltid er i endring. Erfaringsmessig vet man ikke hva de fremtidige behovene og bruken er, men det som er sikkert er at det ikke brukes på samme måte som i dag, og det er derfor viktig å bygge noe som kan tilpasses i flere retninger. Prosjektlederen fra Bergen kommune påpekte også endret bruk og endrede arbeidsmetoder som viktig for utformingen av skolene, og mulighetene for å tilpasse de. Prosjektleder i Hamsto for Møre og Romsdal fylkeskommune påpekte at eksisterende undervisningsbygg blir faset ut fordi de ikke er tilpasningsdyktige nok.

Den intervjuede personen fra Trondheim kommune påpekte at de har en egen kravspesifikasjon, men at kravene til fleksibilitet ikke er enkle å evaluere, og at selv om det er et krav, så skulle det vært i fokus i større grad enn hva det er i dag. I Trondheim kommune har de utviklet evalueringskriterier på fleksibilitet i arkitektkonkurranser, og de har forsøkt å bygge inn fleksibilitet ved at arbeidsplasser skal kunne bygges om til klasserom og lignende. Intervjupersonen understrekte derimot at dette imidlertid kan føre til at brukerne blir mindre fornøyd fordi rommene nødvendigvis ikke er spesialtilpasset, men mer generelle. Også prosjektlederen for Møre og Romsdal fylkeskommune forklarte dette med at det er vanskelig å evaluere tilpasningsdyktighet. Den intervjuede personen understrekte at han har jobbet som prosjektutvikler i både store og små sammenhenger,

både i forhold til det private og det offentlige, og konstaterte med at selv om man stiller krav, så får man aldri noen fasit på om det er oppfylt eller ikke.

På spørsmålet om det er ett av begrepene fleksibilitet, generalitet og elastisitet som er viktigere enn de andre, i et undervisningsbygg, svarte intervjupersonen fra Trondheim kommune at de er like viktige, og at de samlet sett handler om varigheten i et bygg. Prosjektlederen fra Bergen trakk frem generalitet, og understrekte viktigheten av at rommene kan brukes av flere trinn alt etter hvor mange elever som er på trinnet. Prosjektutvikler i UBF påpekte at de ikke tenker på alternativ bruk ved planlegging av undervisningsbygg, mens prosjektleder for Møre og Romsdal fylkeskommune ønsker en mer kommersiell tenking ved planlegging. Videre ble det påpekt av den sistnevnte intervjupersonen at tilpasningsdyktighet er en helhetlig tanke, fremfor å kun tenke fleksibilitet, generalitet eller elastisitet.

I intervjuene ble det stilt spørsmål om hvilke rom, eller soner, som er vanskeligst og enklest å bygge om, samt hvilke som har hyppigst behov for endringer. Intervjupersonen fra Trondheim kommune svarte at det er rommene som elevene oppholder seg mest i som har størst behov for endringer, som undervisningsarealer og garderober, samt lærerarbeidsplassene. De største behovene for endring er ofte knyttet til endringer i elevtall, da disse endrer seg hele tiden, både i klasser og på trinn. Disse arealene ble også trukket frem som de som er enklest å gjøre endringer i, fordi de er generelle, store rom med god fleksibilitet med flere bruksområder. Arealene som er vanskeligere å gjøre endringer i er arealer med spesialavtrekk og installasjoner, som ofte fører til kostbare løsninger. Prosjektutvikleren i UBF trakk frem et eksempel fra Holmen skole, som skulle være så fleksibel som mulig, hvor det ble gjennomført en analyse av hvor lett arealene var å bygge om. Av denne analysen kom det frem at arealene som er vanskeligere å bygge om er de spesialutstyrte rommene med spesialventilasjon som kunst- og håndverk og mat- og helse. I tillegg til disse arealene med spesialventilasjon ble det påpekt at spesialavdelinger eller arealer spesielt tilrettelagt for elever med funksjonsnedsettelse er mindre fleksible på grunn av mange spesifikke krav. Prosjektleder for Møre og Romsdal fylkeskommune konstaterte med at det er kantineareal og kjøkken, samt arealene til de yrkesfaglige linjene, som er vanskeligst å gjøre endringer i, mens det er klasserom, kontor og grupperom som er enklere å gjøre endringer i. Intervjupersonen i tilknytning til Møre og Romsdal fylkeskommune fremhevet i tillegg utfordringene ved ombygging av enkle rom til mer tekniske rom. Fremføring av alle nødvendige tekniske installasjoner og utstyr vil være svært kostnadskrevenende, og det påpekes at det dermed kan være billigere å bygge nytt enn å bygge om. Omdisponering av eksisterende arealer burde gjøres innenfor de mulighetene som finnes for omdisponering sett i lys av kostnad.

Forholdene nevnt over er i stor grad knyttet til grunnskoler. Prosjektleder i Hamsto, for Møre og Romsdal fylkeskommune, konstaterte at det er i ungdomsskoler og videregående skoler det er størst behov for endring. Dette begrunnet han med at det i videregående skoler i stor grad må ha større samspill mellom yrkesfaglige linjer og næringslivet utover lærlingperioden. Dersom skolen går i den retningen, som han understrekte det gjør i Europa, vil de forskjellige hallene i skolen bli overflødige. Videre diskuterte han rundt de tradisjonelle klasserommene og at kan være på vei mer over mot et åpent kontorlandskap, med prosjektrum, stillerom og møterom, som på en arbeidsplass. Også prosjektleder i Nordland fylkeskommune trakk frem endrede arbeidsmetoder i videregående skoler og forklarer at det er mer behov for større arealer med bord og benker med ladestasjoner, enn grupperom.

For å legge til rette for en mer tilpasningsdyktig skole understrekte prosjektlederen fra Trondheim kommune at man må bruke litt mer tid og ressurser i tidligfase. Man må tenke helhetlig på tvers av fag og ta seg tid til å undersøke mulige fremtidige scenarier, for eksempel, hva hvis skolen får inn flere klasser, eller mange flere elever.

### Bygningstekniske parametere

Tabell 13 viser en samlet oversikt resultatene fra intervjuene knyttet til de bygningstekniske parameterne. Radene representerer de bygningstekniske parameterne, mens kolonnene representerer intervjuobjektene. Rutene som er farget blått er parametere intervjupersonene påpekte som sentrale for tilpasningsdyktighet i et undervisningsbygg.

**Tabell 13: Oversikt over fremhevede bygningstekniske parametere i intervju med byggherrer**

Bygningstekniske parametere	TK	BK	UBF	MRF	NF
Tekniske mellometasjer					
Etasjehøyde					
Vertikale sjakter/ installasjons plass					
Mulighet for hulltaking i dekke					
Lastkapasitet dekke					
Spennvidder					
Bredde kommunikasjonsveier					
Innervegger, tunge/lette					
Bygningsbredde					
Arealmengde pr. etasje					
Tomteforhold					
Lastkapasitet bæresystem					

### Etasjehøyde

Etasjehøyde er et av punktene som samtlige av de intervjuede personene påpekte som viktig for tilpasningsdyktigheten i undervisningsbygg. Flere begrunnet dette med størrelsen på tekniske føringer, spesielt ventilasjonskanaler. Prosjektleder i Trondheim kommune understrekte at det ikke bare er bærelengden som gjør at et undervisningsbygg er tilpasningsdyktig, men at etasjehøyden kan være mer utslagsgivende enn spennviddene. For eksempel, så har de i Trondheim kommune erfart at det er byggene som ble bygd før 1930, med gode etasjehøyder, som er svært tilpasningsdyktige, selv om de bærende spennene ikke er mer enn 6-7 meter. Byggene som ikke er hensiktsmessige å rehabilitere og ombygge er ofte knyttet til lave takhøyder.

UBF påpekte at de har et krav til en minimums etasjehøyde på 2,7 m. I tillegg til dette har de strenge krav til dagslys og utsyn, og for å tilfredsstill disse kravene kreves det ofte større etasjehøyder enn minimumskravet. Prosjektlederen fra Arctec for Bergen kommune understrekte at en høyere vegg nødvendigvis ikke vil gi store utslag i pris, og at en større etasjehøyde vil sikre tilpasningsdyktigheten til et bygg i stor grad.

Å øke brutto etasjehøyde er ikke nødvendigvis bare problemfritt da dette påvirker bygningens totale høyde. Flere av de intervjuede byggherrene påpekte utfordringer med den totale bygningshøyden knyttet til naboer og reguleringsplaner. Prosjektutvikleren i UBF trakk frem et eksempel fra et tidligere prosjekt, der det ble lagt tekniske bjelker i

korridoren som kommer inn i klasserommet som sikrer lys, samt gjør at de tekniske føringene tar så liten plass som mulig. På denne måten kunne de ivareta netto etasjehøyde i klasserommene, mens korridorene fikk en lavere etasjehøyde.

#### Tekniske mellometasjer, vertikale sjakter og installasjonsplass

Den intervjuede personen fra Trondheim kommune påpekte at tekniske mellometasjer er ganske vanlig i sykehus, men at undervisningsbygg ikke er så komplekse at det er behov for tekniske mellometasjer. Vertikale sjakter er derimot viktig.

Prosjektlederen fra UBF hadde tidligere vært med på et prosjekt der det var tekniske mellometasjer i et undervisningsbygg, men påpekte at de tekniske føringene ofte heller legges i korridoren for å sikre etasjehøyden i klasserommene. Prosjektlederen fra Bergen kommune påpekte at tekniske mellometasjer ofte fører til en økt bygningshøyde, og at man ikke bruker tekniske mellometasjer grunnet knapphet på areal.

Intervjupersonen med tilknytning til Møre og Romsdal fylkeskommune konstaterte med at det er de tekniske systemene som ikke er tilpasningsdyktige nok, og som skaper store kostnader ved en ombygging. På spørsmålet om hva som bygningsteknisk skaper størst problem under en ombygging trakk prosjektlederen fra Trondheim kommune frem de strenge kravene til luftmengder, og dermed plassbehovet til ventilasjonsanlegget. Kravet til luftmengde blir også påpekt av de intervjuede personene fra UBF. De intervjuede personene fra UBF understrekte at UBF har strengere krav til luftmengder enn det teknisk forskrift gjør, i tillegg ønsker de 15-20% utvidelseskapasitet. Denne utvidelseskapasiteten er et krav grunnet fremtidige ombygginger.

#### Lastkapasitet dekke

Ulike typer rom i en skole krever forskjellige lastkapasiteter. Prosjektutvikleren i UBF trakk frem et eksempel fra en skole som ble bygd på 40-tallet hvor de måtte inn å forsterke dekkene under en ombygging, grunnet endret bruk av arealene.

#### Spennvidder og innvendige vegger

Samtlige av de intervjuede bygherrerrepresentantene takk frem spennvidder som sentralt for å øke tilpasningsdyktigheten til et undervisningsbygg. Prosjektutvikleren i UBF forklarte at de ved utvikling av undervisningsbygg, i henhold til SKOK, legger den bærende konstruksjonen i ytterkant av bygget slik at man får frie spenn innvendig, eller ved å plassere søylene på kun en side av korridoren. I tillegg er de bevisst på plassering av de tekniske hovedføringsveiene, og legger disse oftest i korridor for å gjøre klasseromsfløyene så fleksible som mulig.

Prosjektlederen fra Arctec for Bergen kommune fastslo at maksimal fleksibilitet fås ved å velge et bæresystem som er enkelt å bygge om, og at dette betyr valg av materialer som gir store spennvidder. Plassering av vegger, og utformingen på innerveggene, avhenger derimot også av lydkravene. Prosjektleder i Nordland fylkeskommune trakk også frem bæreakser og -avstander som essensielt for å få en fleksibel rominndeling.

#### Kommunikasjonsveier

Prosjektlederen for Bergen kommune fremhevet at kommunikasjonsveier kan ha forskjellige funksjoner. Mange skoler er utformet med desentraliserte innganger og dette minimerer kommunikasjonsveiene i skolen. Kommunikasjonsveiene sees ofte i sammenheng med andre funksjoner, som lekeareal og bibliotek i for eksempel baseskoler.

## Bygningsbredde

Flere av de intervjuede tok opp daglys og utsyn som et element i forbindelse med bygningsbredden. Prosjektlederen for Bergen kommune påpekte at bygningsbredden har veldig mye å si for lysforholdene i bygget, og at det er krav til daglys både i lovverket om arbeidsplasser, men også i forhold til helsevern. Et eksempel fra Ulsmåg skole ble trukket frem, der det ble brukt lyssjakter for å sikre tilstrekkelig dagslys i korridorene.

## Tomteforhold

Prosjektlederen fra Bergen kommune påpekte at man ofte har små tomter, og at tomtene ofte er maksimalt utnyttet fra før, grunnet arealkrav pr. elev på uteområder. Prosjektlederen for Møre og Romsdal fylkeskommune påpeker også denne begrensningen, og understreker viktigheten av en utviklingsplan. Videre ble det forklart at han vektlegger muligheten for utvidelse av bygget i flere retninger, og ikke kun i én, og at dette i stor grad legger til rette for en mye større tilpasningsdyktighet. På denne måten kan man utvide de ulike avdelingene alt etter hvor man er i utviklingen. Også prosjektleder i Nordland fylkeskommune trakk frem å planlegge for fremtidige utvidelser som essensielt. Videre ble forskjellene mellom tomter i byer og i distriktene påpekt, hvor byene ofte har begrensede tomter, mens distriktene ofte har større tomter med bedre utvidelsesmuligheter.

## Påbygg

Prosjektutvikleren i UBF forklarte at det i 2012-versjonen av SKOKen var et overordnet krav om at bygget skulle bygges slik at det kunne tåle et påbygg i to etasjer. Videre ble det forklart at dette kravet ofte blir fraveket på grunn av kost, og problemstillingen knyttet til å investere i et dyrere bæresystem som man kanskje aldri får bruk for. En annen problemstilling knyttet til påbygging av skoler er at man ikke kan ha skole i drift i de eksisterende etasjene på grunn av sikkerhet. Det ble også påpekt av UBF at tomter der arealene er knappe, og bæresystem tåler påbygg av 1-2 etasjer, er av større verdi. I Bergen kommune ble det også forklart at det ofte bygges i pressområder, og at der mangel på store, gode skoletomter. Det er derimot ikke bare, bare å bygge i høyde heller da det ikke er ønskelig med høyblokker eller høyhus.

## **Muligheter og begrensninger med massivtre som byggemateriale**

Det første spørsmålet byggherrene ble stilt i forhold til massivtre var hvorfor offentlige byggherrer velger å bygge nye undervisningsbygg i massivtre og limtre. På dette svarte UBF at valget er knyttet til miljøkravene til Oslo kommune og reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslipp, men presiserte at det ikke er et fritt valg, men knyttet til politiske føringer. Videre ble det forklart at det i mulighetsstudiene blir gjort vurderinger av bæresystem, og prosjektutvikleren i UBF påpekte viktigheten av å ta beslutningen knyttet til materialvalg før arkitekten begynner å tegne. Den intervjuede personen knyttet til Møre og Romsdal fylkeskommune påpekte også faren ved å låse bygningskroppen for tidlig i forhold til materialvalg for å legge til rette for tilpasningsdyktighet. Også prosjektlederen i Nordland fylkeskommune konstaterte at det er fokuset på klimaregnskap og miljøaspektet som er årsaken til at det bygges undervisningsbygg i massivtre.

Prosjektlederen fra Trondheim kommune forklarte at kommunen har hatt en satsing på tre de siste 12-15 årene for å bidra til å utvikle trenæringen, og at det har vært en av hovedgrunnene til at de har bygd flere undervisningsbygg i massivtre. Intervjupersonene i tilknytning til Bergen kommune trakk frem fordelene med rask bygging, lokal leverandør av massivtre og limtre, samt det gode inn klima som fordeler ved å bygge i massivtre. I

forbindelse med Ulsmåg skole, som begge de to intervjupersonene hadde jobbet i tilknytning til, var det arkitekten som hadde en sterke følelser for å bygge i tre.

I massivtreskolene i Trondheim ble det forklart at det i stor grad benyttes limtre i bærekonstruksjonen, noe som gjør at det ikke er mange innvendig, bærende massivtrevegger, og at det benyttes massivtre i etasjeskillerne. Det presiseres at Trondheim kommune ikke har et dogmatisk forhold til massivtre og limtre, og at de fleste byggene deres er en kombinasjon mellom flere materialer der det mest hensiktsmessige benyttes.

Å bygge med massivtre og limtre skaper ofte et problem i forhold til den totale bygningshøyden grunnet nødvendige dimensjoner. Prosjektlederen i UBF forklarte at de i et nylig prosjekt vurderte forskjellige materialer i bærekonstruksjonen, men at massivtre og limtre ble fraveket siden de bidro til å trekke opp den totale bygningshøyde, noe som ikke var mulig grunnet reguleringen i området. Denne problemstillingen ble også adressert av prosjektlederen fra Arctec for Bergen kommune som påpekte at massivtre og limtre er plasskrevende konstruksjoner.

En annen utfordring, påpekt av samtlige av de intervjuede byggherrene, er knyttet til spennviddene til massivtre.

På spørsmålet om en kombinasjon av materialer kan føre til økt grad av tilpasningsdyktighet svarer intervjupersonen fra Trondheim kommune bekreftende, og at det kan være grunnen til at de ikke har erfart mye utfordringer knyttet til tilpasningsdyktighet og massivtre. Prosjektlederen i Hamsto fastslår også dette, og konstaterer med at det vil bli mer og mer av i fremtiden. Videre fastslås det at tilpasningsdyktigheten vil øke ved økt kompetanse hos arkitekt og rådgiver ved at man bruker de ulike materialene der de er mest hensiktsmessige. UBF påpekte at hvorvidt det blir undersøkt en kombinasjon av materialer i mulighetsanalysen avhenger av rådgivernes kompetanse.

Det er lite erfaringer knyttet til ombygginger av massivtreskoler, siden de fleste skolene som er bygd i massivtre er relativt nye. I Trondheim kommune har de derimot allerede gjennomført en ombygging av en massivtreskole ved at Nardo skole, som ble bygget som en baseskole, har blitt mer lukket. Prosjektlederen i Trondheim kommune har ikke erfart noen utfordringer knyttet til tilpasningsdyktighet i skoler med massivtre og limtre. Hvorvidt en fremtidig ombygging av massivtreskoler er mer krevende enn mer tradisjonelle konstruksjoner, synes UBF er vanskelig å svare på, siden de ikke har noen erfaringer med det. Intervjupersonene fra Bergen kommune konstaterer med at det er relativt lett å bygge om en skole i massivtre og limtre, sammenlignet med et betongbygg. Intervjupersonen for Møre og Romsdal fylkeskommune fastslo også at det ikke er noe vanskeligere å flytte en bærende massivtrevegg, enn en bærende betongvegg.

Hovedutfordringene med å benytte massivtre i et bygg har vært mye knyttet til brann og akustikk. Prosjektlederen i Trondheim kommune understreker at de ikke har hatt noen store problemer knyttet til dette, men at de har lagt vekt på gode rådgivere.

UBF forklarte at gjenbruk av materialer har kommet inn som et miljøkrav, og at de under planleggingen av prosjekter, og valg av materialer, også skal tenke gjenbruk og/eller gjenvinning. Prosjektlederen for Bergen kommune fra Arctec understrekte at massivtre og limtre er rene naturmaterialer, og som er enkle å gjenvinne, sammenlignet med betong med armering. Intervjupersonen for Møre og Romsdal fylkeskommune påpekte det faktum

at massivtre og limtre blir skrudd sammen ved montasje, og at man dermed også kan skru det fra hverandre. På denne måten kan man gjenbruke deler på en helt annen tomt.

#### 4.2.2 Rådgivende ingeniører bygg (RIB)

I tillegg til intervju av byggherrer ble det gjennomført intervju av rådgivende ingeniører bygg som har jobbet sammen med de forskjellige byggherrene. Rådgiverne som ble intervjuet hadde ikke nødvendigvis jobbet på de utvalgte prosjektene, men hadde erfaringer fra prosjekter knyttet til undervisningsbygg, samt massivtreprosjekter.

#### Bygningstekniske parametere

Parameterne som gikk igjen i svarene til de intervjuede rådgiverne, som en kan se i tabell 14, var etasjehøyde, installasjonsplass og spennvidder.

**Tabell 14: Oversikt over fremhevede bygningstekniske parametere i intervju med RIBer**

Bygningstekniske parametere	MC	H2	BP	WSP	NT
Tekniske mellometasjer					
Etasjehøyde					
Vertikale sjakter/ installasjonsplass					
Mulighet for hulltaking i dekke					
Lastkapasitet dekke					
Spennvidder					
Bredde kommunikasjonsveier					
Innervegger, tunge/lette					
Bygningsbredde					
Arealmengde pr. etasje					
Tomteforhold					
Lastkapasitet bæresystem					

For å begrunne viktigheten av installasjonsplass trakk rådgiveren fra BP frem kravet om reservekapasitet i kravspesifikasjonen til Oslo kommune, SKOK, og fremhevet kravet om luftmengder. Videre ble etasjehøyden trukket frem i sammenheng med installasjonsplass, og rådgiveren fra BP presiserte at etasjehøyden er det viktigste momentet. På lik linje med rådgiveren fra BP forklarer rådgiverne fra H2 og NT at netto etasjehøyder erfaringsmessig er et problem i forbindelse med ombygginger, og ofte knyttet til installasjonsplass for ventilasjonsføringer. Intervjupersonen fra WSP konstaterer at det er tekniske føringer som i stor grad skaper utfordringer ved ombygginger.

Rådgiveren fra Multiconsult forklarte at plassering av søyler og underliggende bjelker ofte skaper store problemer under en ombygging. Videre konstaterte han at et enkelt bæresystem som gir rom for små endringer i fremtiden, uten for mye kostnader, er det viktigste ved planleggingen av et undervisningsbygg. Det vil være fordelaktig å legge de stabiliserende elementene rundt arealer som man tror at man mest sannsynlig ikke kommer til å bygge om, samt plassere disse i bygget slik at de gjør størst nytte for seg, konstaterer rådgiveren fra BP. Rådgiveren trakk frem et eksempel ved å legge en trappesjakt i en ende av bygget, og en våtromskjerne i den andre enden. Intervjupersonen fra NT forklarte at dersom man ønsker full fleksibilitet, må man bygge som en butikk med bæring i yttervegg med hulldekker. Dette gir store spenn og få søyler, og bygget blir dermed mest mulig fleksibelt. Også rådgiveren fra H2 Prosjektering konkluderte med at man kan bygge inn fleksibilitet i et bygg ved å ha gode bæresystem med store spennvidder.



Rådgiveren fra Multiconsult og NT påpekte også lastkapasiteten til dekke som en viktig parameter. Dette ble begrunnet med at det er ulike krav til lastkapasitet på dekkene etter bruksområde. Ved en eventuell ombygging kan lastkapasiteten skape utfordringer, f.eks. dersom det skal etableres et auditorium der det tidligere har vært et klasserom, forklares det.

På spørsmålet om hvordan man best mulig kan planlegge for tilpasningsdyktighet svarte rådgiverne at flest mulig rådgivere må komme inn tidlig nok i prosjektet, slik at de har mulighet til å påvirke sluttresultatet.

### **Muligheter og begrensninger med massivtre som byggemateriale**

På spørsmålet om utfordringer med massivtre med tanke på tilpasningsdyktighet trakk samtlige av de intervjuede rådgiverne frem spennvidder. Intervjupersonen fra WSP forklarte at en mulig løsning er å benytte dekker med sammensatte tverrsnitt (ribbedekker/kassedekker) for å øke spennviddene, og gi større rom for utforming, som de gjorde på Romsdal vgs. Kostnadene for disse dekkene er derimot noe høyere.

Rådgiverne fra Multiconsult og WSP trakk også frem dimensjonene på bjelkene og søylene som spesielt utfordrende (limtre). Intervjupersonen fra WSP forklarte at bæresystem med dragere og søyler i limtre, med dekker i massivtre, gir en større grad av tilpasningsdyktighet, enn å benytte bærende vegger og dekker i massivtre. Videre ble det forklart at tekniske føringer gjennom limtre ofte er krevende siden tverrsnittshøyden er vesentlig høyere enn ved stålkonstruksjoner, samtidig som at limtre ikke kan ha større utsparinger uten at kapasiteten reduseres betydelig.

I tillegg til det bygningstekniske så trakk de intervjuede frem akustikk og brann, som spesielt utfordrende. Rådgiverne fra BP og Multiconsult påpekte at ombygginger av massivtreskoler vil bli mer utfordrende grunnet akustikkutfordringene. Også rådgiveren fra NT påpekte utfordringene knyttet til brann og akustikk, men konstaterte at alt er løsbart. Løsningene vil derimot være et kostnadmessig spørsmål, og avhenger av hvor mye byggherre er villig til å betale for å gjøre bygget mer tilpasningsdyktig.

En fordel med ombygginger som ble påpekt er mulighetene for å ta hull i massivtredekkene. På spørsmålet, om ombygginger blir mer komplekse og kostbare på grunn av valget om å benytte massivtre, svarte rådgiverne avkreftende. Dette ble begrunnet med at der er mye renere og enklere å jobbe med treverk sammenlignet med stål og betong, og at egenvekten til materialet gjør det enklere å håndtere ved en ombygging. Rådgiverne fra MC og WSP konstaterte med at mulighetene for gjenbruk av materialer er veldig bra i forhold til betongkonstruksjoner, og dette ble begrunnet med den lave egenvekten.

#### **4.2.3 Massivtre- og limtreleverandører**

For å belyse de tekniske utfordringene ved å benytte massivtre i undervisningsbygg ble et utvalg av massivtre- og limtreleverandører intervjuet.

I starten av intervjuene med de to massivtre- og limtreleverandørene ble det stilt noen oppklarings spørsmål i forhold til begrepene massivtre og limtre. Begge de to intervjupersonene påpekte at det vi i dag kaller massivtre er krysslimte elementer, som kalles krysslimt tre, eller KL-tre. Fra tidlig av ble begrepet massivtre brukt for elementer som ble spikret eller skrudd sammen, eller festet sammen ved hjelp av plugger eller lim. I dag er den store industrien, både i Europa og Norge, knyttet til krysslimt tre. På engelsk kalles krysslimt tre CLT, cross laminated timber, som oversettes til krysslimt tre på norsk.

Gjennom arbeid med masteroppgaven oppsto det en forvirring knyttet til begrepene massivtre og limtre, og det ble derfor stilt spørsmål om feilbruk av disse begrepene. På dette svarte intervjupersonen fra Splitkon at dette ikke var et problem, men at det kunne oppstå forvirring knyttet til at massivtre, som er krysslimt, også er limt tre. Intervjupersonen fra Woodcon påpekte at når man snakker om massivtreskoler så er store deler av bæresystemet i limtre, og at det er mye som er massivt tre, selv om det ikke er massivtre. Det ble også gjort oppmerksom på at det hersker en usikkerhet blant prosjektledere og -utviklere ved utarbeidelse av konkurransegrunnlag for massivtreprosjektene over hvilket begrep som burde brukes, og hva som omfattes av begrepet massivtre. Begge de to intervjuede personene forklarte at det i undervisningsbygg, og i andre større bygninger, benyttes en kombinasjon av massivtre og limtre. Bærestrukturen er ofte i søyle-/ dragersystem i limtre med dekker og avstivende vegger i massivtre.

I intervjuene ble oversikten over viktige bygningstekniske parametere fra temaheftet til Multiconsult, vist i tabell 2, presentert for intervjupersonene. De ble deretter bedt om å trekke frem parameterne som er spesielt utfordrende ved å benytte massivtre. Begge massivtreleverandørene trakk frem spennvidder som spesielt utfordrende. Personen fra Woodcon påpekte at selv om det skaper utfordringer, så er det løsbart. Løsningen kan derimot stille et kostnadsspørsmål, ved at den ikke er den optimale løsningen i forhold til kostnad, men at dette ofte løses ved å se på det totale kostnadsbildet for hele prosjektet, og ikke bare den enkelte løsningen. Videre ble det påpekt at utfordringene er mer knyttet til tekniske fag enn konstruktive løsninger, og viktigheten av samspill mellom ulike fag ble presisert. En limtrebjelke vil ta større plass enn en stålbjelke, og kan skape utfordringer for fremføringer av tekniske installasjoner.

Intervjupersonen fra Woodcon påpekte ulempen ved at arkitekten ofte starter å tegne et undervisningsbygg før materialvalget i bæresystemet er tatt. Det essensielle om man skal bygge i tre, er å ha et bæresystem som er tilpasset trekonstruksjon. Dersom bygget opprinnelig er tegnet som et stål-/ betongbygg, og det oppføres i massivtre vil det bli dyrere enn hva det trenger å være.

På spørsmålet om valget om å benytte massivtre og limtre vil føre til at ombygginger blir mer komplekse, sammenlignet med andre konstruksjonsprinsipper, avviste begge intervjupersonene dette. Personen fra Splitkon presiserte at utformingen av bygget har mye og si, mens personen fra Woodcon påpekte at utfordringene i større grad er knyttet til de tekniske fagene, og at disse utfordringene er tilstede uavhengig av type materiale.

Hovedfordelene med massivtre og limtre, med tanke på tilpasningsdyktighet, som ble trukket frem av begge de to intervjuede personene er at det er enkelt å gjøre tilpasninger i bygget sammenlignet med stål og betong. Hulltaking i elementene er relativt enkel og kan gjøres med en enkel sag. Sammenlignet er boring i betong både kostnadskrevenende og gir mye støy og støv. Det presiseres at det selvfølgelig må tas hensyn til bæring ved hulltaking og flytting av vegger, men intervjupersonen fra Splitkon understreker at massivtre stort sett er enkelt å håndtere og bearbeide i etterkant. Ved fjerning av en vegg, eller utskjæring av en ny dør, kan materialet sages til håndterlige biter og manuelt bæres ut av bygge. Etablering av ny bæring vil også være enklere fordi tre er et lettere produkt enn stål og betong.

En annen fordel med massivtre og limtre er mulighetene for gjenbruk og gjenvinning av materialene. Personen fra Splitkon påpekte at alt de monterer blir skrudd sammen, og at det derfor også kan skrus fra hverandre og settes opp et annet sted, og trakk frem et

eksempel fra VM-paviljongen i Oslo ved siden av UD, som ble demontert og satt opp igjen på Majorstuen. Den intervjuede fra Woodcon presiserte at det er avhengig av utformingen av bygget, hvor det er skjøter mellom elementer og funksjonen til elementene. Er det snakk om et veggelement er det stor sannsynlighet at veggen har funksjon som bærende eller avstivende. Med tanke på gjenvinning nevnte begge de to leverandørene mulighetene for å høvle opp elementene til flis ved endt bruk.

På spørsmålet om en kombinasjon av massivtre og andre materialer kan være fordelaktige svarte personen fra Woodcon at det er en fin måte å øke tilpasningsdyktigheten til undervisningsbygg, og trakk frem massivtredekker med stålbjelker som et eksempel for å løse fremføringen av tekniske føringer. Intervjupersonen fra Splitkon fastslo at massivtre, i kombinasjon med andre materialer, trolig vil bli mye brukt i fremtiden.

## 4.3 Dokumentstudie

I dette delkapittelet presenteres resultatene fra dokumentstudiet.

### 4.3.1 Prosjekteringsanvisninger og kravspesifikasjoner

Dette kapittelet presenterer de viktigste krav fra prosjekteringsanvisningene og kravspesifikasjonene til de undersøkte kommunene og fylkeskommunene for denne studien.

#### **Arealstandard og kravspesifikasjon for skoleanlegg i Bergen kommune**

For å sikre gode løsninger har etat for bygg og eiendom i Bergen (EBB) utarbeidet en dokumentserie med retningslinjer og krav, med en egen arealstandard og kravspesifikasjoner for skoleanlegg. I kravspesifikasjonen skrives det at Bergen kommune benytter en lærings situasjon preget av samhold og fellesskap, og at dette setter noen premisser for det fysiske læringsmiljøet i skolen, som at det stiller krav til at arealer er fleksible. Det heter bl.a.:

Det er og et mål at skolebygg er konstruert slik at en kan gjøre endringer i bygget i takt med endrede behov. Dette gjelder både flytting av vegger, muligheter for å endre bruksområder og muligheter for senere utvidelser/påbygg. (Bergen kommune, 2016b, s. 4)

#### **Standard kravspesifikasjon for Oslo kommune (SKOK)**

I 2015 ble det utarbeidet en standard kravspesifikasjon for Oslo kommune. SKOK består av styrende dokumenter for byggeprosjekter i Oslo kommune, samt tilpassede manualer for de ulike foretakene i kommunen. Det er utarbeidet en egen kravspesifikasjon for skoler som er gjeldende med overordnede og funksjonelle krav som danner grunnlaget for utarbeidelse av den endelige kravspesifikasjonen i konkrete prosjekter (Oslo kommune, u.å-a). Oslo kommune stiller krav både til tilpasningsdyktighet og fleksibilitet i sine skolebygninger, og de formulerte kravene er:

**Tilpasningsdyktighet:** Bygget skal planlegges med nødvendig fleksibilitet, generalitet og elastisitet for å hensynta fremtidig bruk og eventuell utvidelse. (Oslo Kommune, 2015, s. 10)

**Fleksibilitet i bygget:** I rom som skal kunne deles opp eller slås sammen skal lys og andre relevante tekniske installasjoner kunne styres enkeltvis i ulike soner og samlet som en større enhet. (Oslo Kommune, 2015, s. 10)

I tillegg til disse formulerte kravene er fleksibilitet også nevnt i kravspesifikasjonen i forbindelse med elevenes hjemmeområder som mulighet for kapasitetsmessig fleksibilitet for å ivareta årskullsvariasjoner.

### **Prosjekteringanvisning for skolebygg i Trondheim kommune**

Trondheim kommune har utarbeidet en rekke anvisninger og tekniske kravspesifikasjoner som skal brukes i forbindelse med utarbeidelse av anbud og tilbud på arbeider for prosjektering og bygging av kommunale bygninger. Det er utarbeidet en egen anvisning for skolebygg som tar for seg utforming og bygningsmessige løsninger, samt problemstillinger som må vurderes ved prosjektering av skolebygg generelt. I anvisningen heter det bl.a.:

Søyleplassering og andre bærende elementer, plassering av vindu, etasjehøyde, dekktyper mm skal ses i sammenheng med størst mulig fleksibilitet i bygget. Med unntak av nødvendig vindavstivning og vegger som utgjør brannskiller skal innvendige, bærende vegger søkes unngått. (Trondheim kommune, 2016b, s. 15)

### **Prosjekteringsanvisning for Møre og Romsdal fylkeskommune**

Møre og Romsdal fylkeskommune har en tverrfaglig prosjekteringsanvisning for nybygg, men denne tilpasses hvert enkelt prosjekt. I den senere tid har fylkeskommunen hatt fokus på at hvert enkelt bygg skal ha større resultatmål enn forrige bygg, noe som har ført til at det må fokuseres mer på konsept enn bare prosjekteringsanvisning (E-post, 31.mars 2020). I prosjekteringsanvisningen er det formulert flere krav knyttet til fleksibilitet:

Søyler og vegger plasseres slik at det oppnås størst mulig fleksibilitet. Enkelte rom skal kunne deles opp i større og mindre enheter. (Møre og Romsdal fylkeskommune, 2017, s. 16)

Føringsveier dimensjoneres med tanke på fleksibilitet og fremtidige endringer eller utvidelser med minimum 30 % ledig kapasitet etter ferdig anlegg. (Møre og Romsdal fylkeskommune, 2017, s. 38)

Det er også formulerte fleksibilitetskrav knyttet til IKT-løsningene i byggene, samt et krav om automatisk brannsløkkingsanlegg for å oppnå åpenhet og fleksibilitet i bygget.

#### Prosjektspesifikke krav: Romsdal vgs.

I forprosjektet til nybygget på Romsdal vgs. var det formulert ytterligere prosjektspesifikke krav i tillegg til de presentert over i prosjekteringsanvisningen. Disse kravene omfattet krav til både fleksibilitet, generalitet og elastisitet. Et av disse kravene var knyttet til byggets fleksibilitet og elastisitet med muligheter for å utvide og omgjøre bygget uten store forstyrrelser.

## **Kravspesifikasjon for Nordland fylkeskommune**

Nordland fylkeskommune har ikke en egen standard prosjekteringsanvisning eller kravspesifikasjon for nybygg. I samtale med prosjektleder i Nordland fylkeskommune kom det frem at de i nærmeste fremtid skal utarbeide en prosjekteringsanvisning for alle nybygg.

I 2003 utarbeidet Nordland fylkeskommune derimot en rapport om fremtidens skoleanlegg i Nordland fylkeskommune, som i 2012 ble oppdatert etter *Kunnskapsløftet*. Rapportens funksjon er å være et grunnlagsdokument for Utdanningsavdelingens bestillinger av nybygg og ombygginger, og for de som skal prosjektere og utforme skoleanleggene. I rapporten fremmes det krav til fleksibilitet og forandring, og at dette må planlegges for. Videre påpekes det at mulighet for ommøblering øker fleksibiliteten.

Avslutningsvis og som en oppsummering av rapporten skrives det:

«Det fysiske læringsmiljøet skal være preget av åpenhet og tilgjengelighet, med god akustikk og høy estetisk kvalitet, og det skal være fleksibelt og tilpasningsdyktig for skiftende behov.» (Nordland fylkeskommune, 2012)

## **Annet**

Ved fremskaffelse av dokumentene til casestudiene ble det gjort kjent med at Norsk Kommunalteknisk Forening (NKF) utarbeider en mal til en standard kravspesifikasjon for alle kommuner. Dette presenteres kortfattet nedenfor.

### Kravspesifikasjon fra Norsk Kommunalteknisk Forening (NKF)

I slutten av 2019 lanserte NKF en ny kravspesifikasjon for kommunale skoler, og webbløsningen skal ferdigstilles og være tilgjengelig for kommunene i løpet av første kvartal 2020. Ifølge administrasjonsekretær i NKF vil kravspesifikasjonene bli kontinuerlig revidert for å sikre at den riktige kravspesifikasjonen er oppdatert og i tråd med gjeldende forskrifter og standarder. Webbløsningen er kun tilgjengelig for kommuner. (E-post, 10.mars 2020)

### **4.3.2 Bygningsteknisk utforming**

Dette delkapittelet vil presentere de sentrale bygningstekniske parameterne i de undersøkte undervisningsbyggene. Parameterne som undersøkes er sentrale med tanke på tilpasningsdyktighet, og gitt ut fra oversikten over bygningstekniske parametere utarbeidet av Multiconsult i temaheftet *Livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet*. Grunnet variasjon i mottatt dokumentasjon fra de undersøkte prosjektene er ikke alle parameterne presentert for alle undervisningsbyggene.

### **Tekniske mellometasjer**

Det er ikke benyttet tekniske mellometasjer på noen av de undersøkte undervisningsbyggene. Dette punktet vil derfor ikke beskrives ytterligere.

## Netto etasjehøyde

Tabell 15 viser brutto og netto etasjehøyde i de undersøkte undervisningsbyggene.

**Tabell 15: Oversikt over de utvalgte skolenes etasjehøyde i klasserommene**

	Lade skole	Ulsmåg skole	Prinsdal skole	Romsdal vgs.	Hadsel vgs.
<b>Brutto etasjehøyde</b>	4 m	3,73 m	3,82-3,64 m	4 m	4-4,3 m
<b>Netto etasjehøyde</b>	-	3 m	3,261 m	-	3,1-3,4 m

## Vertikale sjakter/installasjonsplass

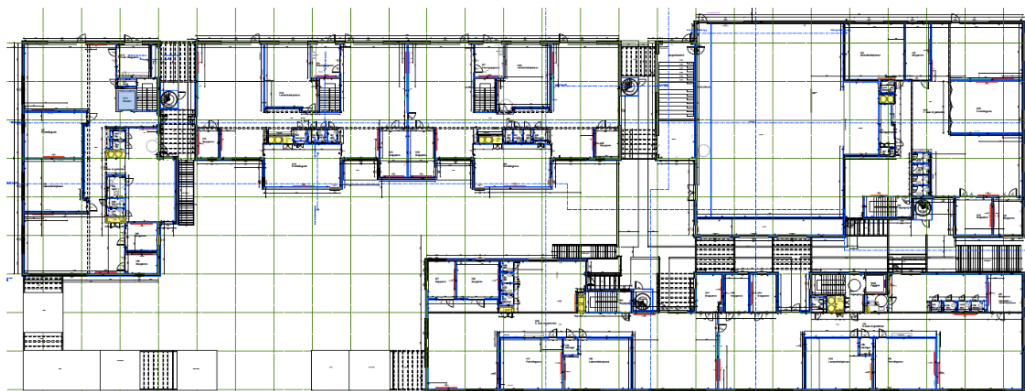
Tabell 16 viser installasjonsplass over himling i de generelle undervisningsarealene og korridorene i de undersøkte undervisningsbyggene.

**Tabell 16: Oversikt over de utvalgte skolenes installasjonsplass over himling og vertikale sjakter**

	Lade skole	Ulsmåg skole	Prinsdal skole	Romsdal vgs.	Hadsel vgs.
<b>Installasjons- plass over himling i klasserom</b>	0,88 m	0,73 m	0,35-0,354 m	-	0,61-0,9 m
<b>Installasjonsplass over himling i korridor</b>	1,08 m	0,37 m	1,146 m	-	1,178 m

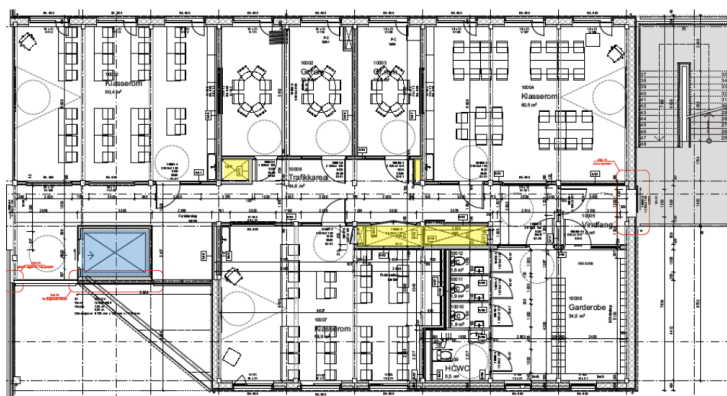
De påfølgende figurene, figur 11-13, viser plassering av heissjakter og andre vertikale sjakter i de undersøkte byggene. Heissjaktene er farget blå, mens de resterende vertikale sjaktene er markert med gul.

Ulsmåg skole består av kun to etasjer hvor alle tekniske føringer er lagt over himling i 1.etasje. Skolen er bygd opp som en baseskole og har dermed ikke de tradisjonelle klasserommene og korridorarealene. Verdien for installasjonsplass over himling i klasserom i tabell 16 er basert på basearealene, mens verdien for korridor er gitt fra fellesarealene som også har funksjon som kommunikasjonsveier.



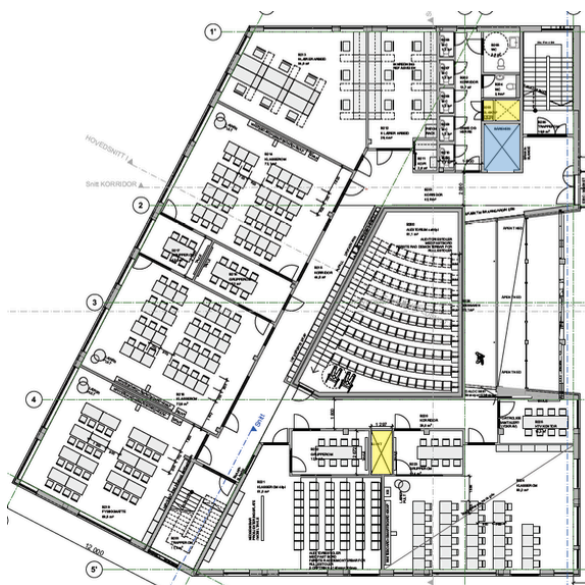
**Figur 11: Plassering av vertikale sjakter på Ulsmåg skole**

I tilbygget på Prinsdal skole er det plassert en heissjakt i den delen av bygget som grenser til det eksisterende skolebygget. De andre vertikale sjaktene er plassert langs korridorene, og sentrert i tilbygget, se figur 12.



**Figur 12: Plassering av vertikale sjakter på Prinsdal skole**

I tilbygget på Hadsel vgs. er det plassert en vertikal sjakt i hver ende av byggen, se figur 13.



**Figur 13: Plassering av vertikale sjakter på Hadsel vgs.**

### **Mulighet for hulltaking i etasjeskiller**

På Lade skole, Prinsdal skole og Hadsel vgs. er det benyttet massivtredekker som etasjeskiller, mens det på Romsdal vgs. er benyttet kassedekker av limtre og massivtre. På Ulsmåg skole er det benyttet tradisjonelle trebjelkelag som etasjeskiller. Grunnet mangelfulle opplysninger ble ikke mulighet for hulltaking i etasjeskiller kartlagt gjennom dokumentstudiet. Mulighet for hulltaking i etasjeskiller, på bakgrunn av materialer, er beskrevet i teorikapitlet og vil brukes for videre diskusjon.

## Lastkapasitet etasjeskiller

Det var kun i tilsendt dokumentasjon for nybygget på Romsdal vgs. at lastkapasiteten til etasjeskillerne var spesifisert, se tabell 17.

**Tabell 17: Oversikt over lastkapasiteten til dekke på de utvalgte skolene**

	Lade skole	Ulsmåg skole	Prinsdal skole	Romsdal vgs.	Hadsel vgs.
<b>Lastkapasitet etasjeskiller</b>	-	-	-	4 kN/m <sup>2</sup>	-

I prosjektet på Romsdal vgs. ble det valgt å legge en lastkapasitet på 4 kN/m<sup>2</sup> til grunn for hele undervisningsdelen, dog ikke i auditorium, kantine og bibliotek. (Møre og Romsdal fylkeskommune, 2014)

## Spennvidder

I tabell 18 gis en oversikt over spennviddene i de undersøkte undervisningsbyggene. Spennviddene på Lade og Ulsmåg skole var ikke spesifisert i den mottatte dokumentasjonen.

**Tabell 18: Oversikt over spennviddene på de utvalgte skolene**

	Lade skole	Ulsmåg skole	Prinsdal skole	Romsdal vgs.	Hadsel vgs.
<b>Spennvidder</b>	-	-	3 m	9,6 m	5 m

Størstedelen av dekkene på Lade skole er utført med massivtreelementer. Der det var behov for lengre spenn enn hva massivtre tillater, i idrettshallen og aulan, ble det benyttet prefabrikkerte betongelementer, hulldekker, opplagt på betongsøylor/ -bjelker. (Trondheim kommune, 2016a)

På Ulsmåg skole ble det benyttet trebjelkelag som etasjeskiller. Trebjelkelaget ble dimensjonert ut fra komfortverdier, men opplevde uheldige nedbøyninger til tross for overdimensjonering. Bjelkelaget består av bjelker i cc 300 mm avstand med limtrebjelker som bæring.

Grunnet kravet om generalitet på Romsdal vgs. så er dekkene løst med større spenn på 9,6 m i undervisningsfløyene. Et spenn på denne størrelsen umuliggjør bruk av tradisjonelle, homogene massivtredekker. Å benytte kortere spenn på maks 7 meter ble vurdert som mulig, men ville være krevende og medføre liten grad av generalitet i prosjektet. Det ble dermed bestemt å benytte kassedekker, som er tynnere massivtreelementer limt og skrudd på over og undersiden av tettsittende limtretragere. (Møre og Romsdal fylkeskommune, 2014)



## Bredde kommunikasjonsveier

Tabell 19 viser en oversikt over bredden på kommunikasjonsveiene i de undersøkte skolene. Ulsmåg skole er bygd opp som en baseskole med hjemmeområder, og har dermed ikke de typiske korridorarealene. Kommunikasjonsveiene er i sammenheng med fellesarealene i bygget.

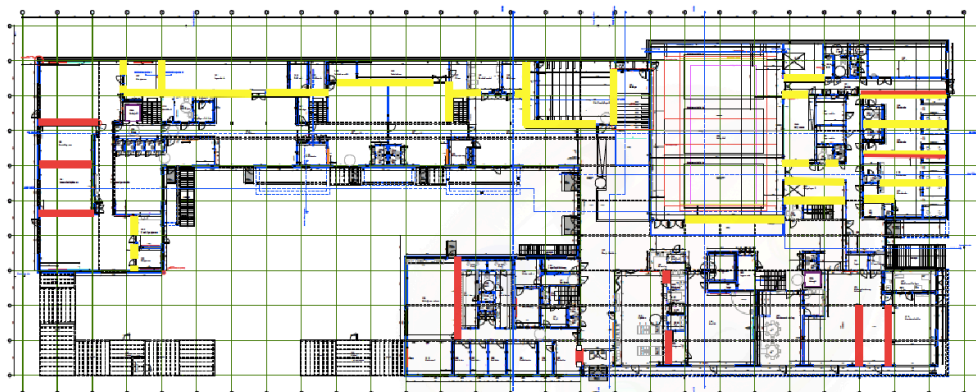
**Tabell 19: Oversikt over bredden på kommunikasjonsveiene i de utvalgte skolene**

	Lade skole	Ulsmåg skole	Prinsdal skole	Romsdal vgs.	Hadsel vgs.
<b>Bredde kommunikasjonsveier</b>	2,16 m	-	1,6 m	-	1,999 m

Bredden på kommunikasjonsveiene i nybygget på Romsdal vgs. var ikke spesifisert i tilsendt dokumentasjon.

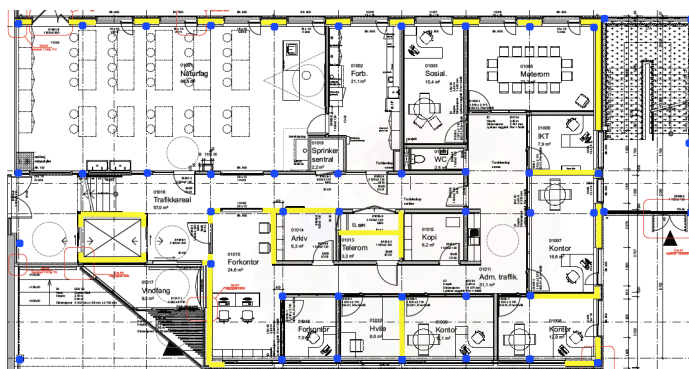
## Innvendig, bærende konstruksjoner

I figurene 14-17 er de innvendige bærende veggene i undervisningsbyggene markert i gult. På plantegningen over Ulsmåg skole er i tillegg de avstivende innvendige veggene markert med rødt, mens plantegningen for Prinsdal skole også viser plassering av søyler i blått.



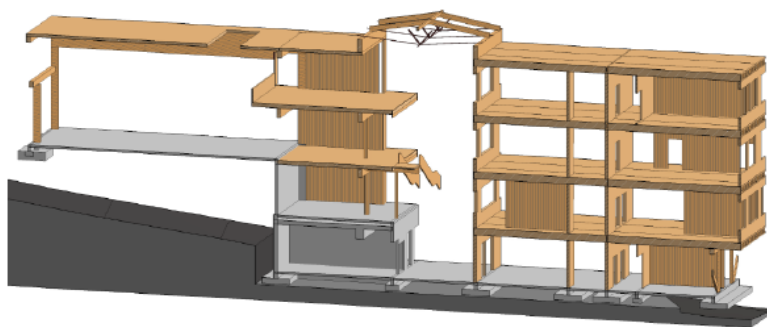
**Figur 14: Plassering av innvendig bærende vegger og avstivende vegger i 1.etasje i Ulsmåg skole**

Bæresystemet på Prinsdal skole er lagt opp som et søyle-bjelkesystem i klasserom med hensyn på fleksibilitet, ved at det ikke er underliggende bjelker i korridor og inn til klasserommene. Som en kan se av figur 15 er de bærende veggene plassert i ytterkant av bygget, samt rundt sjakter sentrert i bygget, med få unntak. Søylene er plassert i ytterkant og langs korridor, og nye vegger og tekniske installasjoner kan dermed tilpasses fritt i arealene på begge sider av korridoren. Grunnet hensyn til tekniske føringer, er det i administrasjonsfløyen valgt å benytte ekstra søyler for å kunne benytte mindre bjelkedimensjoner. (Oslo kommune, 2017)



**Figur 15: Plassering av bærende vegger og søyler i 1.etasje på Prinsdal skole**

På Romsdal vgs. er bæresystemet løst ved at bygget er inndelt i tre selvstendige fløyer som stabilitetsmessig ikke har noe med hverandre å gjøre. Fløyene er løst med bærekonstruksjoner av massivtre og limtre med begrenset bruk av betongkonstruksjoner der det er jordtrykkskrefter, se figur 16. Dekker, samt yttervegger og innvendig bærende vegger er løst ved bruk av en kombinasjon av massivtre og limtre. Det er spesifisert at bæresystemet og rominndelingen er utformet med tanke på generalitet og fleksibilitet som kan fange opp framtidige endringer i skolen. (Møre og Romsdal fylkeskommune, 2014)



**Figur 16: Illustrasjon av bæresystem på Romsdal vgs.**

På Hadsel vgs. består bæresystemet i bygget av limtrebjelker – og søyler, samt noen innvendig, bærende massivtrevegger, som er vist i figur 17.



**Figur 17: Plassering av bærende innervegger i 2.etasje i tilbygget til Hadsel vgs.**

## Bygningsbredde

Tabell 20 viser bygningsbredden i de undersøkte skolene, med hhv. smaleste og bredeste punkt i bredden i de undervisningsbyggene hvor det er variabel bredde.

**Tabell 20: Oversikt over bygningsbredden til de utvalgte skolene**

	Lade skole	Ulsmåg skole	Prinsdal skole	Romsdal vgs.	Hadsel vgs.
<b>Bygningsbredde</b>	25-54 m	14-45 m	16 m	-	17-35 m

## Arealmengde

Tabell 21 viser en oversikt over brutto- og nettoareal i de undersøkte skolene, samt nettoareal pr. dimensjonert elevtall.

**Tabell 21: Oversikt over arealmengder i de utvalgte skolene**

Arealmengde pr etasje	Lade skole	Ulsmåg skole	Prinsdal skole	Romsdal vgs.	Hadsel vgs.
<b>Nettoareal</b>	7.897 m <sup>2</sup> u/mesalin	5.670 m <sup>2</sup>	814 m <sup>2</sup>	8.732 m <sup>2</sup>	-
<b>Nettoareal eks. flerbrukshall</b>	6289 m <sup>2</sup> u/mesalin	4.803 m <sup>2</sup>	-	-	-
<b>Bruttoareal</b>	10.740 m <sup>2</sup> u/mesalin	6.804 m <sup>2</sup>	1.343 m <sup>2</sup>	12.300 m <sup>2</sup>	3.775 m <sup>2</sup>
<b>Brutto/netto</b>	1,36	1,2	1,65	1,41	
<b>Nettoareal/ dimensjonert elevtall</b>	10,67 m <sup>2</sup> /elev	9,45 m <sup>2</sup> /elev	4,50 m <sup>2</sup> /elev	9,19 m <sup>2</sup> /elev	12,58 m <sup>2</sup> /elev
<b>Nettoareal eks. flerbrukshall/ dimensjonert elevtall</b>	8,50 m <sup>2</sup> /elev	8,00 m <sup>2</sup> /elev	-	-	-

Ved byggingen av nybygget på Romsdal vgs. ble hver funksjon i bygget dimensjonert ut fra FEF-modellen, som er en standard for dimensjonering av videregående skoler utviklet i samarbeid mellom fylkeskommunene. (Møre og Romsdal fylkeskommune, 2014, s. 16)

## Tomteforhold

Den mottatte dokumentasjonen varier i beskrivelsene av tomteforholdene. Lade skole og Ulsmåg skole var komplette nye skoler på ubebygd tomt, mens Prinsdal skole, Romsdal vgs. og Hadsel vgs. var tilbygg og nybygg til allerede eksisterende undervisningsbygg.

Lade skole ble ferdigstilt en måned etter planen grunnet grunnforhold som var mer utfordrende enn opprinnelig antatt. Den østligste delen av bygget er sprengt inn i fjell, men ellers på tomten var det bløt og dyp leiregrunn som førte til at store deler av tomten måtte peles. I tillegg ble det bygd støttemurer i større omfang enn først antatt. Lade skole er plassert nordvest på tomten med terreng hellende mot vest. Elevenes nære utearealer er sør- og østvendte, med gode solforhold hele skoledagen, og skjermet av bygget fra vind mot nord og vest. (Trondheim kommune, 2016a)

Tilbygget på Prinsdal skole ble prosjektert i tre etasjer for å minimere byggets fotavtrykk og gi muligheter for senere utvidelser horisontalt på tomten. Skoletomten er regulert til maksimalt 8000 m<sup>2</sup> BRA, og eksisterende skole har et bebyggelsesareal, inklusive det nye tilbygget, på 7776 m<sup>2</sup> BRA. Grunnforholdene på tomten er meget gode og jevne, med kort avstand til fjell. (Oslo kommune, 2017)

Ved planlegging av nybygget på Romsdal vgs. ble utvidelsesmuligheter sterkt vektlagt under planleggingen. Tomten setter klare begrensninger, og eventuelle fremtidige utvidelser må skje på bekostning av eksisterende bygningsmasse. Det mest nærliggende bygget er bygg G, hvor man kan forestille seg at gata forlenges mot øst og tilknyttes en ny fløy. En annen mulighet kan være å etablere en ny fløy der eksisterende bygg A står, ved å forlenge forbindelsesgangen mellom nybygg og bygg K mot vest. Dette vil imidlertid skape lange interne avstander. (Møre og Romsdal fylkeskommune, 2014)

### **Lastkapasitet bæresystem**

I forprosjektet til Prinsdal skole ble det vurdert som usannsynlig, og ikke hensiktsmessig, med en fremtidig utvidelse i høyden (Oslo kommune, 2017). Lastkapasiteten til bæresystemene i de undersøkte prosjektene var ikke spesifisert i noe av den mottatte dokumentasjonen, og følgelig vil ikke dette punktet beskrives ytterligere.

## 5 Diskusjon

I dette kapitlet vil resultatene fra intervjuene og dokumentstudiene knyttes opp mot relevant teori fra kapittel 2.

### 5.1 Massivtre i kommunale og fylkeskommunale undervisningsbygg

Det er mye snakk om massivtreskoler, men hvor stor del av en skole som faktisk består av massivtre varierer mye. Dette gjelder også for andre typer bygg, og hvor stor andel av et bygg som må være i massivtre for at man skal kunne kalle det et massivtrebygg er ikke definert. I et intervju med en av massivtreleverandørene ble det påpekt at prosjektutviklere er usikre på hva som omfattes av begrepet massivtre når de utarbeider konkurransegrunnlag for prosjekt, og hvordan de skal formulere seg for å få det de ønsker. I teorien er det fullt mulig å bygge opp et bæresystem av kun massivtreelementer, i form av bærende vegger og dekker, men dette vil være svært lite gunstig. Både med tanke på planløsningen og tilpasningsdyktigheten til bygget. Et bæresystem i massivtre vil i hovedsak bestå av bærende vegger og dekker i massivtreelementer, med bjelker og søyler i limtre. Et av kravene som ble stilt i utarbeidelse av konseptet ved nybygget på Romsdal vgs. var at massivtre skulle være hovedmaterialet. I forprosjektet skrives det at kravet oppnås, og dette begrunnes med at «massivtre benyttes i bærende deler (dragere, søyler, vegger og etasjeskillere» (Møre og Romsdal fylkeskommune, 2014, s. 25). Det er derimot benyttet limtre i dragere og søyler, og det kan diskuteres om det hersker en forvirring rundt hva som inngår i begrepet massivtre. Begge de to massivtreleverandørene ble stilt spørsmål om feilbruk av begrepene, men fastslo at dette var i svært liten grad. En av leverandørene forklarte at det kan være noe forvirring knyttet til begrepet limtre, siden krysslimt tre (KL-tre), som er det som brukes i størst grad når det er snakk om massivtre, også er limt tre. Den andre leverandøren påpekte derimot forvirring knyttet til begrepet massivtre, siden limtre er massive treelementer, men dog ikke massivtre.

Gjennom utvalgsundersøkelsen ble det gjort oppmerksom på at det er bygd langt flere grunnskoler i massivtre, enn det er bygd videregående skoler. I oversikten over undervisningsbygg i Norge med massivtre i bærekonstruksjon, som ble utarbeidet i utvalgsundersøkelsen i denne studien, er det kun ni av totalt 38 prosjekter som er tilknyttet videregående skoler. I tillegg er det i to av disse prosjektene brukt minimalt med massivtre, enten i bare deler av byggene eller kun i dekkene. De resterende prosjektene i oversikten er nye skoler, nybygg eller tilbygg til allerede eksisterende grunnskoler.

I en markedsanalyse gjennomført av Treteknisk anslås det at 30 prosent av alle nye skoler frem til 2024 vil bygges i massivtre, og en vesentlig faktor for dette er den positive innvirkningen på innemiljøet (Aasheim og Lier, 2017). Aasen og Olsen har gjennom sin bacheloroppgave kartlagt motivasjonen til byggherren for å velge et bæresystem i massivtre, og konkluderer med at dette i hovedsak er knyttet til miljøbetraktninger og ønske om redusert CO<sub>2</sub>-avtrykk (2019). Dette bekreftes gjennom intervjuene gjennomført i denne studien, hvor byggherrene forklarer at det er de positive miljøegenskapene, og innvirkningen på klimagassregnskapet, som er hovedårsaken til at kommunene og fylkeskommunene velger å benytte massivtre ved bygging av nye undervisningsbygg. I

tillegg til de positive miljøpåvirkningene ble det påpekt at det ofte er politiske føringer som ligger til grunn for materialvalget. Både UBF og Trondheim kommune har egne miljøstrategier med mål om å redusere klimagassutslippet i prosjektene sine med hhv. minimum 40% og 30%, i forhold til sine referansebygg. Bergen kommune har ingen spesifiserte krav om reduksjon i klimagassutslipp, men har som krav at det skal utarbeides et klimagassregnskap og at det skal utredes bærekraftige materialvalg og energiløsninger. Prosjektet med tilbygget på Prinsdal skole ble gjennomført som et pilotprosjekt for UBF, på bakgrunn av Oslos kommunes strenge klimamål, for å teste ut fordeler ved massivtrekonstruksjon for mulig utnyttelse i andre skoleprosjekter (Oslo kommune, 2017). I tillegg til den positive innvirkningen på klimagassregnskapet, erfarte UBF at å bygge med massivtreelementer gir en kortere byggetid og en byggeplass med lite støy og støv, noe som er hensiktsmessig ved ønske om å opprettholde en skole i drift i byggeperioden.

I tillegg til målet om å redusere klimagassutslippene i prosjektene sine har både Bergen og Trondheim kommune gjennomført prosjekter for å fremme bruk av tre i kommunene, under hhv. prosjektene *TREbyenTrondheim* og *TID for TRE i fremtidens Bergen*. Nordland fylkeskommune har også som mål om å bidra til å informere om bruken av treprodukter som et av sine klimatiltak, i henhold til sin regionale plan for å løse klimautfordringene i Nordland.

Med bakgrunn i disse kravene og målene så kan det fastslås at kommunene har mer konkrete målsetninger innen energi og miljø, enn fylkeskommunene. Ifølge tall fra SSB var det i 2019, 2528 kommunale grunnskoler og 322 fylkeskommunale videregående skoler i Norge (2019c; 2019b). Begge disse elementene kan forklare den store forskjellen i antallet grunnskoler og videregående skoler i massivtre kartlagt i utvalgsundersøkelsen.

Undervisningsbygg blir bygd med et langsiktig perspektiv, ofte 40-60 år, og i løpet av byggenes levetid vil det skje endringer i læreplaner og skolereformer som påvirker utformingen av bygget, og som krever ombygginger. Massivtreskolene som er bygget frem til i dag, er relativt nye, og det er lite erfaringer knyttet til ombygging av disse. En av de første massivtreskolene som ble bygget var Nardo skole i Trondheim, som ble bygget i 2008. Nardo skole ble bygget som en baseskole og har i senere tid blitt mer lukket, ettersom trenden med baseskoler avtok. Trondheim kommune erfarte ingen spesielle utfordringer knyttet til denne ombyggingen, på bakgrunn av materialvalget, og dette bekreftes gjennom intervju med massivtreleverandører, som avviser at ombygginger av massivtreskoler er mer komplekse enn skoler i mer tradisjonelle materialtyper.

Som konkludert med, er miljøaspektet hovedgrunnen til at det i dag bygges undervisningsbygg i massivtre. En annen del av miljøaspektet er muligheten for gjenbruk av materialer, samt gjenvinning. UBF forklarte at gjenbruk av materialer har kommet inn som et miljøkrav i prosjektene deres, og de andre intervjuede personene konstaterte med at dette kommer til å komme inn som et krav hos de også. En av fordelene med massivtrebygg, konstatert av massivtreleverandørene og RIBene, er mulighetene for gjenbruk og gjenvinning. Dette forklares med at massivtre- og limtreelementene blir skrudd sammen ved montering, og dermed også kan skrus fra hverandre ved avsluttet bruk. Hvorvidt elementene som blir skrudd fra hverandre kan gjenbrukes, avhenger av byggets utforming og elementenes funksjon. Med tanke på gjenvinning, og avsluttet bruk, kan elementene høvles opp til flis og brukes til oppvarming. Sammenlignet med betong, er massivtre og limtre, rene materialer, og dermed mye enklere å gjenvinne.

## 5.2 Tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg i massivtre

Vi lever i en tid der endringene kommer raskt, og det er derfor viktig å etterstrebe tilpasningsdyktige skoleanlegg. Ifølge UBF har skoler de bygger en levetid på 25-40 år (Thorsen i Simensen, Mikalsen og Jonassen, 2018). I løpet av denne tiden vil det kunne skje endringer i skolereformer og læreplaner, samt at elevtallet kan variere mye. Begge disse elementene kan påvirke utformingen av undervisningsbyggene og endre behovene. Nytteverdien til tilpasningsdyktighet i et bygg er knyttet til god funksjonalitet over tid, lavere kostnader for eier over tid og lavere miljøbelastning (Multiconsult, 2007). I et undervisningsbygg vil god funksjonalitet over tid gi effektiv ressursutnyttelse i forbindelse med bygningsmessig drift. Et av spørsmålene som ble stilt i intervjuene var knyttet til viktigheten av tilpasningsdyktighet for byggherrene. Samtlige av de intervjuede byggherrene påpekte at det er svært viktig, og begrunnet dette med at man fra erfaringer vet at behovene vil endre seg, og at dagens eksisterende undervisningsbygg blir besluttet revet, i stedet for ombygd, dersom de ikke er tilpasningsdyktige nok.

Tilpasningsdyktigheten til en bygning avhenger av en rekke sentrale bygningstekniske parametere. I dette delkapittelet diskuteres disse parametere med bakgrunn i teori, dokumentstudie og de gjennomførte intervjuene, med mål om å utarbeide en oversikt over sentrale parametere for undervisningsbygg. Utarbeiding og diskusjon av parametere tar utgangspunkt i oversikten presentert i temaheftet *Livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet i bygninger* utarbeidet av Multiconsult, vist i tabell 2. De ulike parametere diskuteres under betydning for installasjonsplass og utstyr, betydning for arealdisponering og tilgjengelighet, og betydning for utvidelsesmuligheter. Betydning for installasjonsplass og utstyr, samt betydning for arealdisponering og tilgjengelighet, avhenger av byggets fleksibilitet og generalitet, mens betydning for utvidelsesmuligheter er knyttet til byggets elastisitet (Multiconsult, 2007).

Som beskrevet i teorikapittelet er utforming av undervisningsbygg, og ivaretagelsen av det fysiske miljøet, knyttet til teknisk forskrift og diverse lover. I tillegg til dette har noen av de større kommunene utarbeidet egne kravspesifikasjoner, eller prosjekteringsanvisninger, som gjelder for prosjektering av nye bygg. Prosjekteringsanvisningene, eller kravspesifikasjonene, til de undersøkte kommunene er alle spesifikke for undervisningsbygg. I kravspesifikasjonen til Oslo kommune stilles det overordnede krav til tilpasningsdyktighet, med økt fokus på fleksibilitet. Kravet til tilpasningsdyktighet omfatter at alle bygg skal planlegges med nødvendig fleksibilitet, generalitet og elastisitet for å ta hensyn til fremtidig bruk og eventuell utvidelse. Det økte fokuset på fleksibilitet påpeker viktigheten av muligheten til å kunne variere gruppestørrelser i skolen. Større rom skal kunne deles inn i mindre rom, og flere mindre rom skal kunne slå sammen til større, åpne arealer. Bergen kommune har ingen formulerte krav knyttet til tilpasningsdyktighet, men krever at arealene i skoleanleggene er fleksible. Et av målene som Bergen kommune fokuserer på er knyttet til flytting av vegger, som samsvarer med Oslo kommunes krav om at rom skal kunne slås sammen og deles. Ytterligere to mål er formulert, med fokus på fleksibilitet i kravspesifikasjonen til Bergen kommune, knyttet til muligheter for å endre bruksområder og muligheter for senere utvidelser/ påbygg. Selv om det ikke er formulert konkrete krav knyttet til begrepet elastisitet fremkommer begrepet i målet for senere utvidelser/ påbygg. Kravet om endring av bruksområder kan også sies å inngå i begrepet generalitet, som handler om at rommene kan brukes av flere grupper og til flere aktiviteter, uten å gjennomføre bygningsmessige endringer. Heller ikke i prosjektanvisningen til Trondheim kommune stilles det krav ved bruk av begrepet tilpasningsdyktighet. På lik linje med Bergen kommune stilles det derimot

krav til fleksibilitet i bygget. Kravet omfatter at plassering av søyler og bærende elementer skal ses i sammenheng med størst mulig fleksibilitet i bygget, samt at innvendige, bærende vegger skal unngås. I prosjekteringsanvisningen til Trondheim kommune er det derimot ingen krav som kan knyttes til mulighet for endret bruk eller mulighet for tilbygg/påbygg, hhv. generalitet og elastisitet. (Oslo Kommune, 2015; Bergen kommune, 2016b; Trondheim kommune, 2016b)

Møre og Romsdal fylkeskommunene (MRF) har òg en egen prosjekteringsanvisning, men denne er generell for alle nybygg, og ikke spesielt tilpasset for undervisningsbygg slik som anvisningene til kommunene. I prosjekteringsanvisningen til MRF, er det som i spesifikasjonen til Trondheim kommune, et krav om at bærende elementer skal ses i sammenheng med størst mulig fleksibilitet, og på lik linje med kravspesifikasjonen til Oslo kommune, skal rom kunne deles opp i større og mindre enheter (Møre og Romsdal fylkeskommune, 2017). Selv om MRF ikke har noen spesifikke krav til generalitet og elastisitet i sin generelle prosjekteringsanvisning, utformes disse kravene spesielt for hvert prosjekt. I forprosjektet til nybygget på Romsdal vgs. kommer det frem at det er gjort bevisste valg både med tanke på generalitet og elastisitet i prosjektet (Møre og Romsdal fylkeskommune, 2014). Nordland fylkeskommune har ingen egen prosjekteringsanvisning, men utarbeidet i 2003 en rapport om fremtidens skoleanlegg i Nordland. I denne rapporten påpekes det at undervisningsbyggene skal være tilpasningsdyktige og fleksible (Nordland fylkeskommune, 2012). I intervjuet med byggherrerepresentanten fra Nordland fylkeskommune ble det derimot gjort kjent med at fylkeskommunen skal utarbeide en prosjekteringsanvisning som gjelder for alle nybygg i nærmeste fremtid.

Som en kan se av tabell 22, som en oppsummering, er det kun to av de fem undersøkte kommunene og fylkeskommunene som har formulert krav ved bruk av begrepet tilpasningsdyktighet. Det er flest krav knyttet til fleksibilitet i de undersøkte prosjekteringsanvisningene, og minst krav knyttet til elastisitet.

**Tabell 22: Oversikt over krav i prosjekteringsanvisningene til kommunene og fylkeskommunene**

	<b>Trondheim kommune</b>	<b>Bergen kommune</b>	<b>Oslo kommune</b>	<b>Møre og Romsdal fylkeskommune</b>	<b>Nordland fylkeskommune</b>
<b>Krav stilt i prosjekteringsanvisninger</b>					
<b>Tilpasningsdyktighet</b>			X		X
<b>Generalitet</b>	X	X	X	X	X
<b>Fleksibilitet</b>	X	X	X	X	X
<b>Elastisitet</b>		X	X	X	

I perioden høsten 1999 til 2001 gjennomførte SINTEF Bygg og miljø, avdeling Arkitektur og byggteknikk et prosjekt knyttet til fleksibilitet i tette boligområder. I løpet av arbeidet med prosjektet ble det besluttet å gå over til begrepet tilpasningsdyktighet i stedet for fleksibilitet som fellesbegrep. Med bakgrunn i dette, intervjuene og ved undersøkelse av kravspesifikasjonene og prosjekteringsanvisningene til de utvalgte kommunene og fylkeskommunene, kan det diskuteres om det eksisterer et feilbruk av begrepet fleksibilitet. Definisjonen av fleksibilitet, som er lagt til grunn for denne oppgaven, er at fleksibilitet omhandler muligheten for å forandre bygningen gjennom flytting av vegger,



slik at man får nye planløsninger og sammensetninger av rom (SINTEF Byggforsk, 2004). Det er i stor grad krav knyttet til denne typen endringer som går igjen i anvisningene, og som og kan kalles fysisk fleksibilitet. Bergen kommune stiller i sin kravspesifikasjon krav til at arealene skal være fleksible, og innebærer dette med fysisk fleksibilitet, men også endringer i bruksområder og muligheter for utvidelser/påbygg, som omfattes av hhv. begrepene generalitet og elastisitet.

I en tidligere studie gjennomført av Magnus Rotvold undersøkes rollen til fysisk fleksibilitet i arkitektkonkurranser om nye skoler (2018). Oppgaven konkluderer med at byggherre må være mer bevisst på hvilke kriterier som stilles i konkurransegrunnlaget for å sikre god fysisk fleksibilitet i skolebygg, og at dette vil bidra til å gi et godt sammenligningsgrunnlag mellom konkurranseforslagene. SKOK er den eneste av kravspesifikasjonene som krever dokumentasjon på fleksibilitet. I intervjuet med prosjektleder fra Trondheim kommune ble det forklart at Trondheim kommune har utviklet en del evalueringskriterier på fleksibilitet i arkitektkonkurranser, men understreket, som flere andre av de intervjuede personene, at fleksibilitet er vanskelig å evaluere.

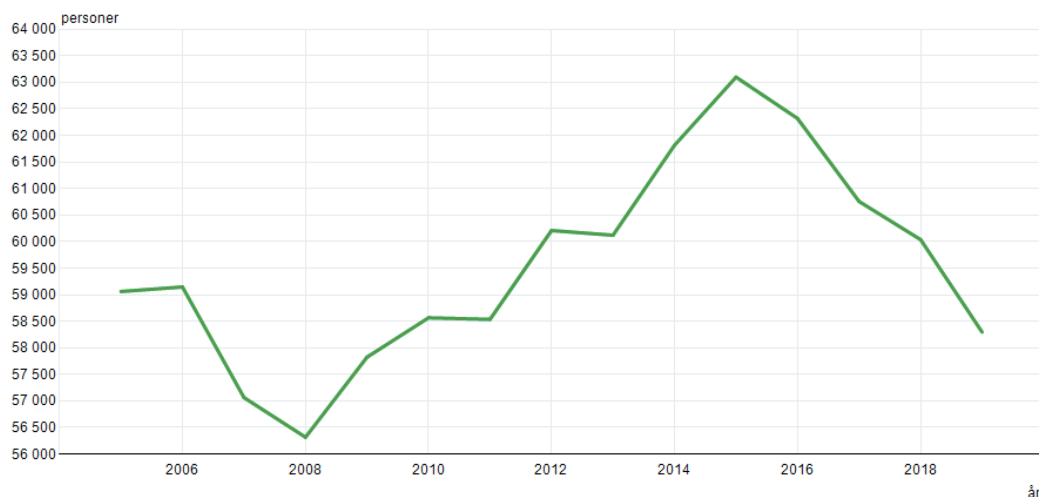
Med utgangspunkt i vurderinger om fremtidig bruk må det vurderes hvor mye det bør satses på tilpasningsdyktighet, og hva slags type tilpasningsdyktighet som anses som mest sentralt, hhv. generalitet, elastisitet og fleksibilitet (Multiconsult, 2007). Begrepet tilpasningsdyktighet er en samlebetegnelse på de nevnte forholdene, og dersom en bygning har krav om høy grad av tilpasningsdyktighet, vet man ikke dermed hvordan kravene til fleksibilitet, generalitet og elastisitet er. Dette vil variere fra bygning til bygning, der noen bygninger vil ha et stort behov for en høy grad av fleksibilitet, mens det i andre bygninger kanskje vil være mer viktig med høy grad av generalitet og elastisitet. Dette forholdet avhenger av bygningstype, virksomhetens arbeidsmåter, fremtidsantakelser osv. (Multiconsult, 2007). Ved planlegging av nye bygninger er det viktig at denne differensieringen på tilpasningsdyktighet blir opprettholdt.

Det er skrevet mye om tilpasningsdyktighet i sykehus, kontorbygninger og boliger, men svært lite om undervisningsbygg. Sykehus er store, komplekse bygninger med mye installasjoner og utstyr, og bygges normalt med en forventet levetid på 45-70 år. Grunnet hyppige endringer i medisin og teknologi, samt krav til effektivitet og funksjonalitet, både for pasienter og personell, krever sykehus en høy grad av tilpasningsdyktighet (Multiconsult, 2007). Denne høye graden av tilpasningsdyktighet tilsvarer en tilpasningsgrad, TPG 0, og krever høy grad av både fleksibilitet, generalitet og elastisitet. I henhold til tabellen for tilpasningsgrad, tabell 1, krever kontor-, bolig-, industri- og undervisningsbygninger en lavere TPG enn sykehus, henholdsvis TPG 1 eller TPG 2. Av tabellen fremkommer det også at kravene til fleksibilitet og generalitet er høyere enn kravene til elastisitet for disse bygningstypene. (Mørk *et al.*, 2008)

Som beskrevet i Arge (2003) handlet tilpasningsdyktighet i kontorbygninger tidligere i stor grad om fysisk fleksibilitet, men grunnet raske endringer i organisasjoner har generalitet og elastisitet blitt mer og mer viktig. Raske endringer i organisasjoner samsvarer med endringer knyttet til skolereformer og læreplaner, og som en kan se av tabell 22 er det flere av kommunene og fylkeskommunene som har innsett viktigheten av nettopp generalitet og elastisitet. Arge skriver videre at kontorbygninger planlegges for oppdeling og muligheter for salg og utleie til mer enn bare én bruker (2003), og dette kan også relateres til undervisningsbygg, da flere av de intervjuede byggherrene understreket viktigheten av sambruk i dagens undervisningsbygg.

I intervjuene ble byggherrene spurt hvilke rom som har hyppigst behov for endring, og hva som oftest er grunnen til disse endringene. Flere av de intervjuede påpekte at det er endringer i generelle undervisningsareal, der hvor elevene oppholder seg mest som oftest har behov for endring, og at disse endringene ofte er knyttet til variasjon i elevtall. Disse rommene kategoriseres også som de arealene som er enklest å gjøre endringer i, mens de arealene som er vanskeligere å gjøre endringer i er spesialrom med avtrekk. Disse er følgelig også mer kostbare å gjøre endringer i.

Med bakgrunn i intervjuene kan det diskuteres om elastisitet burde spille en større rolle i planlegging av nye undervisningsbygg, enn det som fremkommer av Multiconsults tabell over TPG, tabell 1. Figur 18 viser antall elever i 1.klasse i kommunale grunnskoler i en tidsperiode på 15 år, fra 2005 til 2019. Som en kan se av figuren har det i løpet av perioden vært stor variasjon i antall elever som begynner i grunnskolen, fra ca. 56 500 i 2008 til ca. 63 000 i 2015. Variasjon i elevtall kan være knyttet til en naturlig variasjon, at det er færre barn som blir født i det aktuelle skoleområdet, men kan også skyldes utbygging av boligområder i tilknytning til skolekretsen. Flere av de intervjuede byggherrerepresentantene påpekte viktigheten av å planlegge for fremtidige utvidelser, og en av disse understrekte viktigheten av å ha mulighet til å utvide i mer enn én retning.



**Figur 18: Antall elever i 1.klasse over hele landet 2005-2019 (Statistisk Sentralbyrå, 2019a)**

En av de intervjuede byggherrerepresentantene trakk frem behovet for generalitet, ved at rommene kan brukes av flere trinn, alt etter hvor mange elever som er på trinnet. Dersom det et år starter veldig mange på 1.trinnet, vil dette antallet følge trinnene i årene som kommer. Det vil dermed, det første året, være behov for ekstra arealer på 1.trinnet, mens det i det påfølgende året vil være behov for ekstra arealer på 2.trinnet. I SKOK fremmes det krav om at elevenes hjemmeområder skal ha mulighet for kapasitetsmessig fleksibilitet for å ivareta slike årskullsvariasjoner (Oslo Kommune, 2015). Å etterstrebe generalitet i arealutformingen kan dermed være med på å minimere utfordringene knyttet til denne variasjonen i elevtall, men det understrekes også av en av de intervjuede, at arealene ikke må bli så generelle at de ikke blir funksjonelle.

### 5.2.1 Bygningstekniske parametere

Valg av materialer kan ha innvirkningen på utformingen av bygg med tanke på tilpasningsdyktighet. Massivtre er et relativt nytt materiale, og har andre egenskaper enn mer tradisjonelle byggematerialer som stål og betong. I dette delkapittelet diskuteres de bygningstekniske parameterne som er sentrale for å tilrettelegge for tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg, med spesielt fokus på utfordringer ved å benytte massivtre i bærekonstruksjonen.

I intervjuene, samt tidligere studier, blir viktigheten av et tidlig materialvalg påpekt (Fure, 2019; Hegle, 2018; Aasen og Olsen, 2019). Fure (2019) konkluderer i sin studie at materialvalget burde tas før arkitekten begynner å tegne, og dette bekreftes gjennom intervju med massivtreleverandørene. En omprosjektering fra et stål-/betongbygg vil ikke bare være utfordrende, men kostbart, og vil i stor grad ha en negativ innvirkning på tilpasningsdyktigheten til bygget. Begge de to intervjuede massivtreleverandørene konstaterer med at en kombinasjon med andre materialer kan være med på å bøte på de utfordringene massivtre har, og at dette vil kunne være med på å øke tilpasningsdyktigheten i byggene. En av leverandørene konstaterer at det er noe vi vil se mye av i fremtiden.

Tabell 23 viser det samlede resultatet fra intervjuene over hvilke bygningstekniske parametere intervjupersonene anser som sentrale for å legge til rette for tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg. Som en kan se av tabellen er det spesielt etasjehøyde, installasjonsplass og spennvidder som går igjen blant intervjupersonene.

**Tabell 23: Sammenligning av intervjuresultat om bygningstekniske parametere mellom byggherrer og rådgivere**

Bygningstekniske parametere	TK		BK		UBF		MRF		NF	
	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R
Tekniske mellometasjer										
Etasjehøyde	■		■	■	■	■	■		■	■
Vertikale sjakter/ installasjonsplass	■		■	■	■	■		■	■	■
Mulighet for hulltaking i dekke		■								
Lastkapasitet dekke		■			■					■
Spennvidder	■		■	■	■	■	■	■	■	■
Bredde kommunikasjonsveier							■			
Innervegger, tunge/lette		■	■			■				
Bygningsbredde			■		■		■			
Arealmengde pr. etasje			■							
Tomteforhold			■		■		■		■	
Lastkapasitet bæresystem										

#### **Parametere av betydning for installasjonsplass og utstyr**

Et undervisningsbygg har ikke behov for like mange store, og tunge installasjoner som det trengs i, for eksempel et sykehus, og plassbehov og dimensjonering for dette er dermed ikke like avgjørende for tilpasningsdyktigheten til et undervisningsbygg.

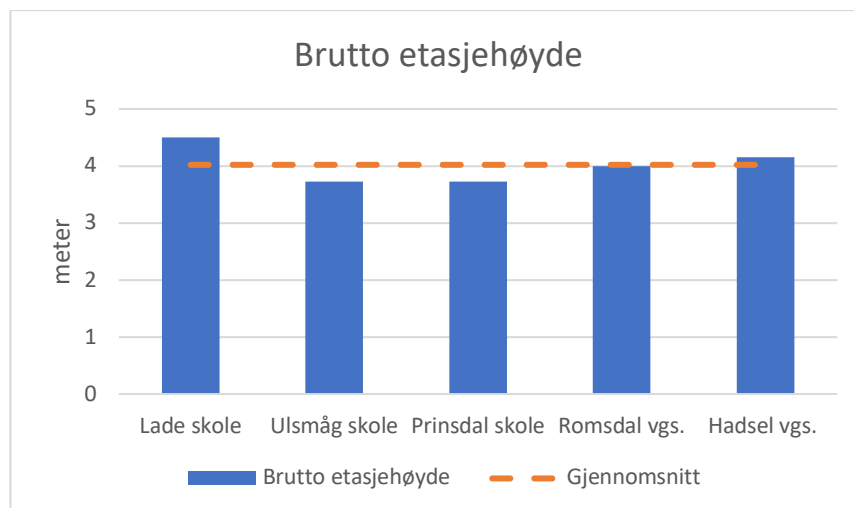
## Tekniske mellometasjer

Tekniske installasjoner omfatter installasjoner for luftbehandling, luftkjøling, varme, vann og automatisering (SINTEF Byggforsk, 2002). Tekniske mellometasjer benyttes som føringsveier og installasjons plass for tekniske anlegg over rom med tyngre bruksfunksjoner. I et sykehus er dette rom som røntgen, operasjon, intensiv og forskningsavdelinger. Fordelene med bruk av tekniske mellometasjer er at det er mulig å skifte utstyr, drive vedlikehold og legge til rette for endring i bruksmønster uten å stenge av tilhørende etasje (Kallmyr, 2004). Som nevnt over har undervisningsbygg i grunnskolen spesialrom som naturfagsrom, musikkrom, kunst- og håndverk, samt rom for mat- og helsefag. Disse rommene krever spesielle avtrekk, men har ikke spesielt stort eller tungt utstyr. I en videregående skole er det derimot flere spesialarealer knyttet til yrkesfaglige utdanninger som inneholder mye utstyr, som sveisehaller og bygghaller. Denne oppgaven er avgrenset til å kun omhandle de generelle læringsarealene i grunnskoler og videregående skoler, som klasserom, arbeidsområder og fellesområder. Følgelig vil ikke disse spesialarealene diskuteres ytterligere.

Ingen av de undersøkte skolene i denne studien har tekniske mellometasjer. Noen av de intervjuede personene hadde erfaringer fra prosjekter med tekniske mellometasjer i undervisningsbygg, men de fleste påpekte at bruken av tekniske mellometasjer ikke er særlig vanlig i undervisningsbygg, men mer knyttet til sykehus.

## Etasjehøyde

Multiconsults temahefte om livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet trekker frem fremføring av installasjoner i himling, plassering av stort, evt. takhengt utstyr, samt tilstrekkelig romvolum som aktuelle utfordringer knyttet til netto etasjehøyden i et bygg. Flere av disse punktene ble også pekt på av samtlige av de intervjuede personene. I figur 19 vises brutto etasjehøyden i de undersøkte undervisningsbyggene, samt gjennomsnittet av disse.



**Figur 19: Sammenligning av brutto etasjehøyde i undervisningsbyggene**

Ifølge Trondheim kommune er etasjehøyden ofte grunn til at kommunen velger å rive en skolebygning fremfor å rehabilitere og bygge om. Den intervjuede prosjektlederen trakk frem et eksempel fra et ombyggingsprosjekt med en etasjehøyde på 4 m, og påpekte at etasjehøyden bidro til at bygget var svært enkelt å bygge om. Bakgrunnen for viktigheten til en god etasjehøyde ble av flere av intervjupersonene begrunnet med størrelsen på

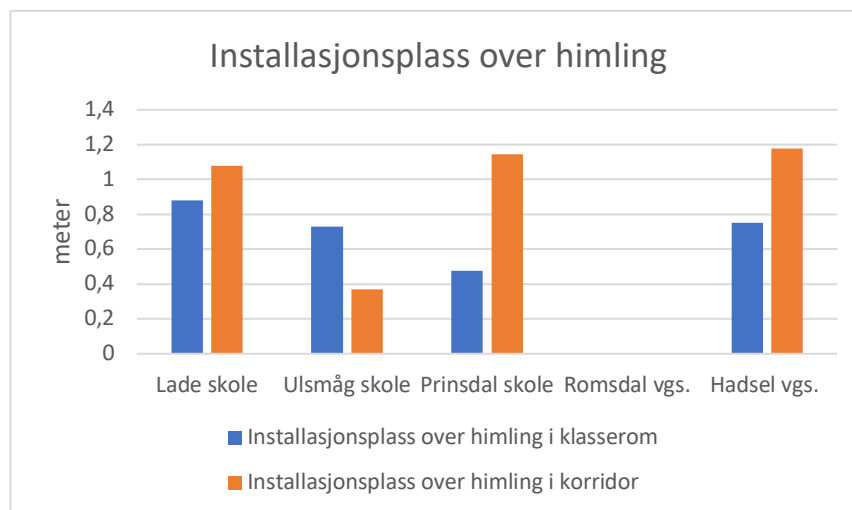
tekniske føringer og plassbehovene til disse installasjonene. Brutto etasjehøyde er viktig for å tilfredsstille kravene til netto etasjehøyde, og på samme tid, sikre tilstrekkelig installasjonsplass. Installasjonsplass diskuteres ytterligere i påfølgende punkt.

I prosjekteringsanvisningen til Trondheim kommune understreker de at valg av etasjehøyde skal sees i sammenheng med størst mulig fleksibilitet i bygget. Arge skriver at høy generalitet i en kontorbygning tilsvarer en netto etasjehøyde på 2,7 m og en brutto etasjehøyde på 3,6 m (2003). UBF opplyser i intervjuet at de opererer med en minimums netto etasjehøyde på 2,7 m. Som en kan se av figur 19 er gjennomsnittlig etasjehøyde i de undersøkte undervisningsbyggene 4 m, og byggene kan dermed sies å ha høy generalitet i form av etasjehøyde.

I intervju med Bergen kommune ble det påpekt at trekonstruksjoner er mer plasskrevende enn stål og betong. I tillegg er det mer tekniske installasjoner som skal inn i bygget, sammenlignet med tidligere, og sammen bidrar dette til et behov for en økt brutto etasjehøyde. I utgangspunktet er det ikke noen særlig økonomisk konsekvens av at byggene blir høyere, men et problem som derimot kan oppstå, er dersom det er satt høydebegrensninger til bygget i form av reguleringsplaner. Reguleringsplaner diskuteres ytterligere under punktet *Tomteforhold*.

### Vertikale sjakter/ installasjonsplass

I stedet for å benytte tekniske mellometasjer, som diskutert over, føres de tekniske installasjonene i stor grad over himling for horisontale føringer, og i sjakter for vertikale føringer. Vanlig praksis for fremføringer av tekniske installasjoner horisontal er å senke himlingen i korridorene for å gi plass til tekniske føringer (SINTEF Byggforsk, 2002), noe som også representantene fra UBF forklarte i intervjuene, og som kan sees av verdiene i figur 20. Tilstrekkelig installasjonsplass var et av punktene som ble påpekt av flere av de intervjuede byggherrerepresentantene og rådgiverne.



**Figur 20: Sammenligning av installasjonsplass over himling i klasserom og korridorarealer i de undersøkte undervisningsbyggene**

Figur 20 viser størrelse på installasjonsplass over himling både i klasserom og i korridor for de undersøkte skolene. Som en kan se av figuren er det stor forskjell på installasjonsplass over himling i klasserom og korridor på Prinsdal skole, Lade skole og Hadsel vgs. Selv om dette er den mest brukte formen for fremføringer av installasjoner vil senkede himlinger gi begrensninger ved senere bruksendringer, for eksempel dersom det

ønskes å slå sammen korridorarealene og klasserommene til hjemmeområder eller åpne arbeidsområder. Denne utfordringen adresseres av Arge, som skriver at en sammenhengende, flat og lydtett himling er viktig med tanke på fleksibilitet i en kontorbygning (2003). Dette vil bidra til at man kan endre planløsningen i stor grad, ved å sette opp eller fjerne vegger, uten store bygningsmessige endringer.

Ved bruk av massivtreelementer i etasjeskiller er det mindre plass for ledninger og rør enn i bjelkelagskonstruksjoner. I noen tilfeller kan det lages store hulrom ved nedforet himling eller oppbygd gulv, eller det er mulig å frese spor i massivtreelementene, dersom det kreves større plass. Dersom sistnevnte alternativ benyttes er det viktig å være påpasselig der det er lydkrav til etasjeskilleren, og alle spor må være prosjektert og dimensjonert. God koordinering av både planlegging og utførelse mellom de involverte fag er viktig dersom installasjoner legges i hulrom. (SINTEF Byggforsk, 2009a)

Ulsmåg skole er en baseskole og har dermed ikke de tradisjonelle klasserommene og korridorarealene. For å gjøre verdiene mest mulig sammenlignbare er størrelsen på installasjons plass over himling i klasserom hentet fra et av basearealene, mens størrelsen på installasjons plass over himling i korridor er hentet fra fellesarealene og kantine. Som en kan se av figur 20 er det her en motsatt sammenheng mellom de to variablene, og det er mer installasjons plass over basearealene enn kommunikasjonsveiene. Dette kan forklares med at det er benyttet et annet prinsipp for fremføring av installasjoner. Grunnet oppgavens omfang og hovedfokus på de bygningstekniske egenskapene, vil ikke ventilasjonsløsninger diskuteres ytterligere.

I byggforskblad 379.320 *Plassbehov for føringsveier til tekniske installasjoner* skrives det at det er viktig å ta hensyn til muligheten for økt belastningsnivå i fremtiden ved planlegging og dimensjonering av luftbehandlingsanlegg. For å minimere fremtidige kostnader ved behov for utvidelse av ventilasjonsanlegg har Møre og Romsdal fylkeskommune og Oslo kommune krav knyttet til mulighetene for utvidelse av de tekniske anlegg, og krever en overskuddskapasitet på 20-30%. I henhold til tabell 5 i byggforskblad 379.320 kan man velge kategoriene lav, normal og høy ved dimensjonering av vertikale sjakter. Kategoriene betegner den relative forskjellen mellom de ulike alternativene, der høy betegner større grad av fleksibilitet. Med ønske om høy grad av fleksibilitet, og med bakgrunn i kravene om overskuddskapasitet, kan det være aktuelt å dimensjonere de vertikale sjaktene etter alternativ høy. (2002)

### **Lastkapasitet etasjeskiller**

Lastkapasiteten til dekke er en av de bygningstekniske parameterne i oversikten utarbeidet av Multiconsult. Ordet dekke brukes ofte om etasjeskiller av betong, mens etasjeskillere av tre kalles bjelkelag (Rygh, 2019). Begrepet *dekke* brukes derimot også for massivtreelementer, som kalles massivtredekker. Gjennom undersøkelser av de utvalgte undervisningsbyggene ble det identifisert at det er brukt forskjellige typer etasjeskillere. På Ulsmåg skole er det benyttet bjelkelag, mens det i de andre undervisningsbyggene er benyttet massivtredekker. Følgelig vil denne parameteren videre omtales som lastkapasiteten til etasjeskiller.

Lastkapasiteten til etasjeskillere er knyttet til mulighetene for store nyttelaster og utstyr. To av intervjupersonene, hhv. én byggherrerepresentant og én rådgiver, påpekte utfordringen knyttet til lastkapasiteten til etasjeskilleren ved endret bruk. Som en kan se av utdraget fra Norsk Standard har forskjellige rom i et undervisningsbygg ulike dimensjonerende laster. Ved en ombygging, og endret bruk og plassering av rom, kan

lastkapasiteten til etasjeskillerne by på utfordringer. I henhold til NS-EN 19991-1-1-1:2002 har kontorer og undervisningsrom en dimensjonerende lastkapasitet på 3 kN/m<sup>2</sup>, mens auditorium, kantiner og fellesområder dimensjoneres etter en lastkapasitet på 4 kN/m<sup>2</sup>. Bi

I prosjektet på Romsdal vgs. ble det valgt å legge en lastkapasitet på 4 kN/m<sup>2</sup> til grunn for hele undervisningsdelen, dog ikke i auditorium, kantine og bibliotek. Ved å gjøre denne forenklingen slipper man å regne på forskjellige deler av et dekke for forskjellige lastkategorier, samt at det medfører en større grad av tilpasningsdyktighet ved senere endringer og ombygginger, for eksempel dersom en ønsker å legge en korridor eller et fellesareal der det tidligere har vært et undervisningsrom.

### **Mulighet for hulltaking i etasjeskiller**

Hulltakingsmuligheter i etasjeskiller påvirker muligheten for montering av utstyr, fremføring av nye installasjoner, punktutt av el, ventilasjon etc (Multiconsult, 2007). Muligheten for hulltaking avhenger av oppbygningen av etasjeskillerne. Dersom det skal gjennomføres hulltaking i etasjeskiller må det undersøkes hvordan dette påvirker stivheten til etasjeskilleren, og om tilstrekkelig lastkapasitet bevares. En av intervjupersonene understrekte at behovet for hulltaking i etasjeskiller for fremføring av installasjoner minimeres ved tilstrekkelig mengde og størrelse på vertikale sjakter.

Som beskrevet i teorikapittelet må en utvise forsiktighet ved hulltaking i betongdekker, grunnet muligheter for sprekkdannelser. Hulltaking i hulldekkeelementer og trebjelkelag er noe enklere, og man kan ta mindre hull uten reduksjon av bæresystemets kapasitet eller stivhet (2013). Gjennom intervju med massivtreleverandørene ble det konstatert at det er relativt enkelt å ta hull i massivtredekker. Dette ble begrunnet med at det ikke krever spesialutstyr annet enn en sag, og at delene som tas ut er lette å håndtere, og kan bæres manuelt ut. I tillegg vil det være lite støy og støv, sammenlignet med, for eksempel, kjerneboring i betong. Større utsparinger og hull må med i dimensjoneringen, og ved nybygg gjøres dette som oftest under produksjon, men kan også gjøres på byggeplass (SINTEF Byggforsk, 2009a).

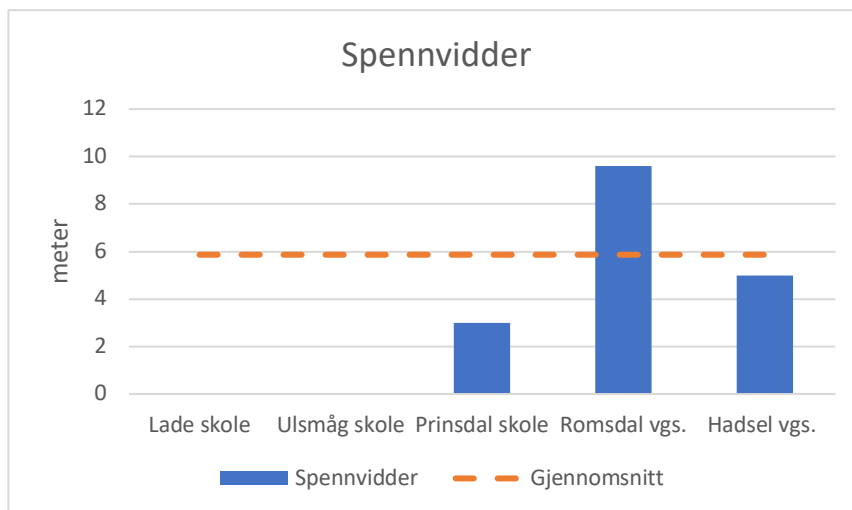
### **Parametere av betydning for arealdisponering og tilgjengelighet**

I henhold til prosjekteringsanvisningene og kravspesifikasjonene til de undersøkte kommunene og fylkeskommunene er det muligheter for variert arealdisponering og arealutforming, også kalt fysisk fleksibilitet, som er vektlagt i størst grad.

### **Spennvidder**

Spennvidder er en svært viktig parameter mtp. tilpasningsdyktighet, da lange spenn gir økt mulighet for arealutforming og frie flater. Samtlige av de intervjuede personene, både byggherrer og RIBer, trakk frem spennvidder som viktig med tanke på å øke tilpasningsdyktigheten til et undervisningsbygg. I mange tilfeller, særlig når det er snakk om kontorbygg og offentlige bygg, ønsker prosjekterende spennvidder på 9-10 m for å få store nok rom, og god fleksibilitet i utformingen av bygget.

Som en kan se av figur 21 er det stor variasjon i spennvidder i de undersøkte prosjektene, med et gjennomsnitt på 6,6 m. Som beskrevet i teorikapittelet vil massivtreelementer anvendt som etasjeskillere klare et fritt spenn på opptil 7-7,5 m (TreFokus, 2011). På Lade skole, Prinsdal skole og Hadsel vgs. er det benyttet massivtreelementer som etasjeskiller, mens det på Ulsmåg skole ble benyttet trebjelkelag.



**Figur 21: Sammenligning av spennvidder i de undersøkte undervisningsbyggene**

UBF forklarte i intervjuet at de ved utvikling av undervisningsbygg ofte legger bærende konstruksjon i yttervegg, slik at man får frie spenn innvendig. Som en kan se av figur 21 har prosjektet på Prinsdal skole den laveste spennvidden blant de undersøkte prosjektene, på hhv. 3 m. Dette kan forklares med at bæresystemet på Prinsdal skole bygd opp som et søyle-bjelkesystem i klasserommene, ved at det ikke er underliggende bjelker i korridor og inn til klasserommene. Denne utformingen ble valgt med bakgrunn i ønske om fleksibilitet i klasseromsdelen av tilbygget.

Både de intervjuede byggherrene, RIB og leverandørene konkluderte med at begrensningene i spennvidder er hovedutfordringen ved bruk av massivtredekker og med ønske om høy grad av tilpasningsdyktighet. Som påpekt av en av leverandørene finnes det løsninger på denne problematikken, men løsningene kan stille et kostnadsspørsmål. Nettopp dette ble en problemstilling i nybygget på Romsdal vgs., hvor de valgte å benytte en mer kostbar dekkeløsning for å muliggjøre større spenn. Bakgrunnen for dette valget var kravet om generalitet i bygget.

Spennviddene har innvirkning på både fleksibiliteten og generaliteten i et undervisningsbygg, der den endelige utformingen vil være avhengig av hva som veier tyngst. På Prinsdal skole ble fleksibilitet i klasserommene vektlagt i stor grad, noe som førte til bruk av kortere spennvidder. På Romsdal vgs. ble det derimot stilt store krav til generalitet, som igjen ga behov for økte spennvidder.

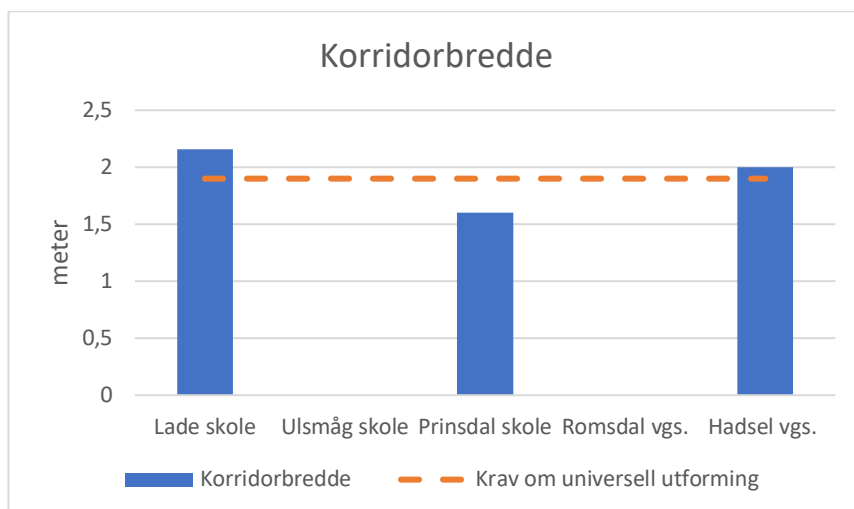
### **Bredde kommunikasjonsveier**

Korridorbredde er spesielt viktig i sykehus for trilling av senger/ pasienter, og vil ikke kreve like stort fokus i et undervisningsbygg. Korridorbredden må derimot tilfredsstille kravene til universell utforming, samt rømningskrav ved brann. Som følge av krav om universell utforming av undervisningsbygg skal korridorene være minst 1,6 m brede, og ha en netto fri høyde på 2,2 m (Standard Norge, 2018). Kravene til universell utforming av arbeids- og publikumsbygninger beskrives i NS 11001-1:2018.

Det ble påpekt i intervjuene at flere skoler i dag utformes med desentraliserte innganger, grunnet sambruk, og at dette minimerer kommunikasjonsveiene i en skole.



I figur 22 sammenlignes bredden på kommunikasjonsveiene i de undersøkte undervisningsbyggene. Bredden på korridorene ligger mellom 1,6-2,2 m, med et gjennomsnitt på 1,9 m.



**Figur 22: Sammenligning av korridorbredder i de undersøkte undervisningsbyggene**

Ulsmåg skole er, som nevnt, en baseskole, og har dermed ikke de tradisjonelle korridorene. Kommunikasjonsveien er da ofte sett i sammenheng med fellesareal, lekeareal og lignende.

### Innvendige vegger og søyler

Som Arge (2003) skriver handler tilpasningsdyktighet i kontorbygninger i stor grad om fysisk fleksibilitet og om muligheten til å kunne flytte innvendige vegger, og dette går også igjen i undervisningsbygg. I prosjektanvisningen til Trondheim kommune og MRF kreves det at plassering av søyler og andre bærende elementer skal ses i sammenheng med størst mulig fleksibilitet i bygget. I oversikten til Multiconsult het denne parameteren *innervegger (tunge/lette konstruksjoner)*. Siden massive ofte benyttes sammen med limtrebjelker og -søyler, samt at flere av kravspesifikasjonene påpeker søyleplasseringen, kalles denne parameteren videre for *Innvendig vegger og søyler*.

Trondheim kommune presiserer i tillegg at innvendige, bærende vegger skal unngås der det er mulig. Både Bergen kommune, Oslo kommune og MRF krever at vegger skal kunne flyttes for å dele opp, eller slå sammen, rom i henhold til kravene om fleksibilitet.

Avstivende veggskiver rundt sjakter og innvendig trapp legger til rette for mest mulig fleksibilitet. Som foreslått av rådgiveren i Bjørnstad Prosjektering burde de innvendige bærende veggene i et undervisningsbygg legges rundt arealer som med svært liten sannsynlighet skal bygges om, og der de i tillegg har funksjon som avstivende elementer. Dette ble eksemplifisert ved å legge en heissjakt til den ene enden av bygget, og bærende vegger rundt våtrom i den andre enden av bygget.

På Ulsmåg skole er innvendig bærende og avstivende vegger plassert i tilknytning til yttersidene av bygget. Bæresystemet er utformet med hensyn på fleksibilitet ved at det ikke er underliggende bjelker i korridor og inn til klasserommene. De bærende veggene er lagt i yttervegg, rundt heissjakt og i tillegg rundt sjakt og arkivrom sentrert i bygget. Søylene på Prinsdal skole er plassert i yttervegg og på hver side av korridoren, som ligger

midt i bygget. Klasserommene og kontorene i hver side av bygget har lettvegger mellom seg, og kan dermed slås sammen til større rom, dersom det er behov for det.

Romsdal vgs. har bærende yttervegger i massivtre mot nord, og i tillegg noen innvendige bærende vegger øst i bygget. Grunnet valget om å benytte dekker med større spenn er det minimalt med søyler plassert inne i bygget. På Hadsel vgs. er det bærende vegger rundt auditoriet i midten av bygget, samt rundt trappesjakt og toaletter i hver side av bygget.

Som flere av de intervjuede personene påpekte er en stor del av tilpasningsdyktigheten i et bygg knyttet til de tekniske systemene, spesielt størrelsen på ventilasjonsføringene for å tilfredsstille kravene til luftmengde. Ingen, eller få, bærende innervegger gir muligheter for endringer i planutformingen. Ved flytting av innervegger, og endrede romstørrelser, blir det også påpekt at det må være muligheter for å endre ventilasjonsanleggene for å sikre tilstrekkelig luftmengde pr. rom og gulvvarme. Grunnet oppgavens omfang diskuteres ikke dette ytterligere.

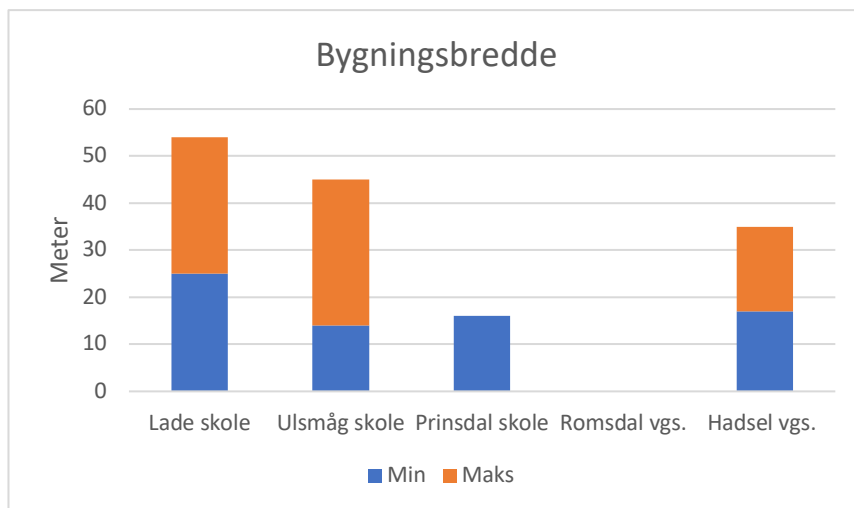
### **Bygningsbredde**

Bygningsbredden har innvirkning på planutformingen og lystilgangen i en bygning. I en kontorbygning ansees en bygningsbredde på 16-17 m ideell med tanke på høy generalitet, og muligheten for ulike kombinasjoner av kontorløsninger og god arealeffektivitet. (Arge, 2003).

Med bakgrunn i filosofien om et åpent kontorlandskap bygges det også kontorbygninger som er mer enn 20 m dype. (Arge, 2003). Dersom disse bygningene skal bygges om til tradisjonelle cellekontor vil dette kunne gi en lavere arealeffektivitet. Prosjektlederen i Nordland fylkeskommune og MRF påpekte at større areal med arbeidsstasjoner blir mer og mer vanlig i videregående skoler. Disse arbeidsarealene er veldig like åpne kontorlandskap.

På spørsmålet om bygningsbreddens innvirkning på tilpasningsdyktighet var det flere av de intervjuede personene som trakk frem dagslys og utsyn som elementer knyttet til bredden på bygningen. Prosjektutvikleren hos UBF presiserte at de opererer med et dagslyskrav på 0,5% på innerste pult i klasserom, men trakk også frem et eksempel fra Holmen skole, der dagslyskravet var 1%. For å tilfredsstille disse kravene blir ofte etasjehøyden økt. Der dette ikke er mulig, grunnet begrensninger knyttet til bygningshøyden må det ofte finnes andre løsninger. Et alternativ kan være større vindusarealer, som de for eksempel benyttet på Lade skole hvor det er montert et aerogelfelt over alle vindu, som bidrar til å gi mer lys dypere inn i rommet. Et annet alternativ er å benytte lyssjakter, slik som arkitekten på Ulsmåg skole gjorde, for å få inn nok dagslys i korridorene.

De undersøkte undervisningsbyggene har store forskjeller i bygningsbredde sammenlignet med hverandre, men også store variasjoner grunnet byggets utforming, se figur 23. den blå delen av søylene representerer den smaleste bygningsbredden i undervisningsbyggene, mens den blå og oransje delen til sammen viser den bredeste bygningsbredden.

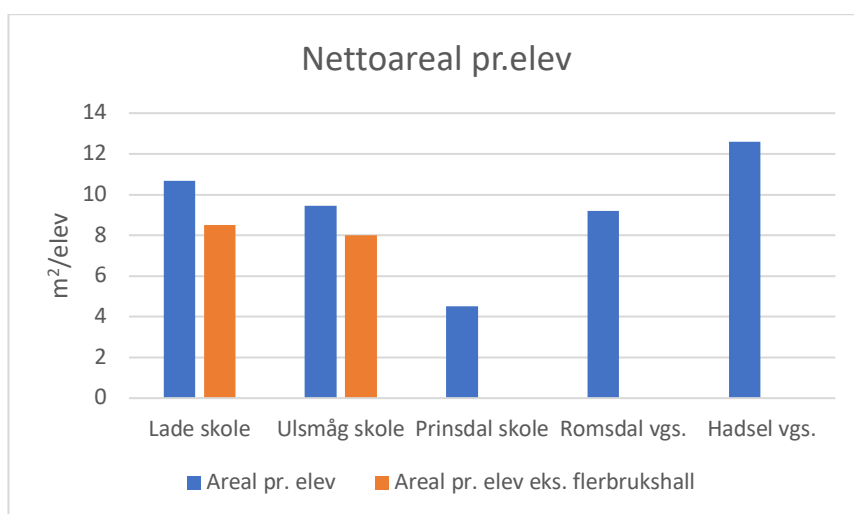


**Figur 23: Oversikt over bygningsbredde i de undersøkte undervisningsbyggene**

Prinsdal skole er den eneste av de undersøkte undervisningsbyggene som er utformet som et rektangel, med lik bygningsbredde over hele bygget, på hhv. 16 m. Med bakgrunn i de strenge kravene om tilpasningsdyktighet i SKOK, og Arges ideelle bygningsbredde, kan det anslås at tilbygget har høy generalitet i form av bygningsbredde, og vil være arealeffektiv dersom det i fremtiden skal ombygges.

### Arealmengder

I oversikten utarbeidet av Multiconsult er en av parameterne *arealmengder pr. etasje*. Enkelte funksjoner i en bygning krever et minsteareal for å fungere tilfredsstillende, og arealet har også en innvirkning på muligheten for å etablere frie, åpne flater. I tillegg til dette stilles det også krav til areal pr. elev. Mange skoler praktiserer samlokalisering av trinn på samme etasje, og dette stiller krav til tilstrekkelig areal pr. etasje. Den mottatte dokumentasjonen om undervisningsbyggene spesifiserte ikke areal pr. etasje, og følgelig vil totalt nettoareal pr. elev diskuteres videre. Figur 23 viser en sammenligning av totalt nettoareal pr. elev for de undersøkte undervisningsbyggene. Gjennomsnittet mellom de undersøkte undervisningsbyggene ligger på 10,5 m<sup>2</sup>/elev.



**Figur 24: Sammenligning av areal pr. elev i de undersøkte undervisningsbyggene**

Som beskrevet i teoridelen finnes det ingen nasjonale arealkrav for undervisningsbygg, men mange kommuner har egne arealnormer. I 2005 utarbeidet Norconsult et notat som presenterer arealnormer for grunnskoler i fem kommuner. I dette notatet fremkommer det at den gjennomsnittlige barneskolen har 7,5 m<sup>2</sup>/ elev, mens den gjennomsnittlige kombinertskolen har 7,1 m<sup>2</sup>/elev. Disse verdiene er fratrukket areal for kroppsøving, og er kun sammenlignbare med de oransje søylene i diagrammet i figur 23. Lade skole og Ulsmåg skole har hhv. 8,5 og 8,0 m<sup>2</sup>/elev, ekskludert arealene som er i tilknytning til flerbrukshallene i byggene, og er dermed dimensjonert over normen. Dette er et positivt moment med tanke på økning, eller variasjon, i elevtall.

Arealutformingen av Romsdal vgs. er gjort med bakgrunn i FEF-modellen, som er en standard for dimensjonering av videregående skoler. Ved en sammenligning av søylene for grunnskolene og de videregående skole kan man se at gjennomsnittet for areal pr. elev er noe høyere for de videregående skolene enn grunnskolene.

### **Parametere av betydning for utvidelsesmuligheter**

Som beskrevet i teorikapitlet handler elastisitet om å kunne redusere eller utvide bruksarealene i en skole i forbindelse med varierende elevtall. Mulighetene for å utvide en skole avhenger av tomteforholdene, som har betydning for horisontal utvidelse av skolen med tilbygg, og lastkapasiteten til bæresystemet, som har betydning for vertikal utvidelse i form av påbygg. Som det ble beskrevet i innledningen av kapittel 5.2 er det ofte behov for å utvide en skole, og disse parameterne er dermed svært sentrale.

#### **Tomteforhold (mulighet for tilbygg)**

Utnyttelsesgraden og høyde, samt plassering på tomt avgjør muligheten for utvidelser, både horisontalt og vertikalt. I tillegg til dette er grunnforholdene og reguleringsplaner knyttet til tomten svært avgjørende.

Flere av de intervjuede pekte på forskjeller mellom å bygge skoler i byer og i distrikt, og trakk frem ulike fordeler og ulemper knyttet til dette. I en by er det ofte knappe arealer, mens det i distriktene ofte er større arealer som kan reguleres. En av byggherrene påpeker også kravene til uteområdene som begrenser utnyttelsen av tomten. Kravene til minste uteoppholdsareal (MUA) angis i planbestemmelsene for tomten, og omfatter de delene av tomten som er egnet til formålet og som ikke er bebygd eller avsatt til kjøring og parkering (TEK, 2017).

Prosjektleder for MRF peker på utvidelsesmuligheter som svært viktige. Under planleggingen av nye undervisningsbygg mener han at det bør lages en utviklingsplan, og at det burde fokuseres på å kunne utvide skolen i mer enn én retning. Dette begrunner han med at det er vanskelig å vite hva det er behov for i fremtiden, og at man dermed kan utvide den avdelingen det er behov for.

#### **Lastkapasitet bæresystem (mulighet for påbygg)**

Lastkapasiteten til bæresystemet påvirker muligheten for å bygge på en eller flere etasjer. Som påpekt av flere av de intervjuede personene bygges det oftest nybygg eller tilbygg til allerede eksisterende skoler, og det bygges sjeldent i høyden. Ved å bygge i høyden unngår man grunnarbeider, noe som kan være en kostnadsbesparing. Derimot, dersom det skal bygges flere etasjer på en allerede eksisterende skole, må skolen stenges og elevene må gå på en midlertidig skole, da det ikke er forsvarlig å bygge på en skole i drift.

Prosjektutvikleren fra UBF forklarte i intervjuet at den tidligere versjonen av kravspesifikasjonen, SKOK, inneholdt et overordnet krav om at bæresystemene i nye undervisningsbygg skulle dimensjoneres til å tåle to etasjer i form av påbygg. Videre ble det forklart at en slik overdimensjonering har konsekvenser for kostnaden i prosjektet, og at det dermed ofte ble fraveket.

Å bygge i høyden er heller ikke alltid en god løsnings, grunnet reguleringer og nærliggende naboer. En reguleringsplan er en politisk vedtatt plan som sier noe om hvordan et avgrenset område kan brukes og hvor stort og høyt det kan bygges (Oslo kommune, u.å-c). Som forklart kort i punktet *etasjehøyde* er en av reguleringsbestemmelsene knyttet til bygningshøyde på tomten, og dette setter ofte begrensninger for å kunne bygge i høyden, i form av påbygg. Høydebestemmelsene kan også skape problemer ved nybygg. Som påpekt av en av byggherrerrepresentantene er massivtre og limtre plasskrevende konstruksjoner med sine nødvendige dimensjoner, og vil dermed være med på å trekke opp den totale bygningshøyden.

Et bæresystem i massivtre og limtre er lett sammenlignet med et bæresystem i stål og/eller betong, og således gunstig å benytte i påbygg. En av de intervjuede personene opplyste om at dette har blitt svært vanlig i Sverige de siste årene, der de bygger på eksisterende stål og betongbygg i massivtre og limtre.

### 5.3 Planlegge for tilpasningsdyktighet

Temaheftet *Livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet i bygninger* avslutter med en liste over punkter man bør tenke gjennom ved planlegging av nybygg, med tanke på livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet. Et av disse punktene er å foreta vurderinger om bygningens fremtidige bruk. Punkter som inngår i disse er; hvilken type virksomhet, brukstid/ leietid, markedet for virksomheten, tilrettelegging for andre markedssegmenter og plassering på tomt med tanke på fremtidig utvidelse. Som det ble påpekt av Oslo kommune så planlegges ikke undervisningsbygg for annet bruk enn for undervisning. Ved planlegging av et nytt undervisningsbygg legges det vekt på å skape et bygg som tilfredsstillende alle krav og behov for brukerne. Selv om en høy grad av tilpasningsdyktighet etterstrebtes påpeker en av intervjupersonene viktigheten av å ikke legge for mye vekt på generelle løsninger, slik at bygget blir lite funksjonelt.

Ved planlegging av et nytt undervisningsbygg må det gjøres vurderinger om fremtidig bruk. I dette legger Multiconsult en vurdering om hvor viktig det er å satse på tilpasningsdyktighet og hva slags tilpasningsdyktighet som anses som mest sentral, hhv. fleksibilitet, generalitet og elastisitet. Ifølge UBF har undervisningsbyggene deres en levetid på 40-60 år, og i løpet av denne tiden kan det skje store endringer i undervisningsformer og -metoder. Som diskutert i delkapittel 5.2 *Tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg* er det vanskelig å trekke frem et av begrepene, fleksibilitet, generalitet eller elastisitet som viktigere enn de andre, da disse begrepene i stor grad går inn i hverandre. Dette indikerer at det kan være mer hensiktsmessig å se på tilpasningsdyktighet med et helhetlig perspektiv, fremfor å fokusere mer på enten fleksibilitet, generalitet eller elastisitet.

Gjennom intervjuene kom det frem at det er de generelle læringsarealene, klasserom og grupperom, som er enklest å gjøre endringer i ved en ombygging. Utfordringene ved en ombygging er ofte knyttet til de mer spesielle undervisningsarealene som krever spesialutstyr og spesialavtrekk. UBF forklarte at de ved et prosjekt gjennomførte en analyse av hvor det var størst behov for tilpasningsdyktighet i bygget, og valgte løsninger

med bakgrunn i denne analysen. En slik analyse vil være hensiktsmessig ved utformingen av undervisningsbygg, og burde sammen med en analyse av mulige fremtidige scenarioer, danne grunnlag for føringer og valg under planlegging.

Å planlegge for tilpasningsdyktighet gir ikke nødvendigvis tilleggsinvesteringer, men er en måte å tenke på når man velger løsninger. Som påpekt av prosjektleder i Bergen kommune så har ikke en høyere yttervegg stor innvirkning på totalkostnaden ved et nybygg. Overdimensjonering av bæresystem derimot, kan være med på å dra opp totalkostnaden av prosjektet. UBF opplyste at de tidligere har operert med et krav om at bæresystemet skal tåle 1-2 etasjer i tillegg, men erfarer at det i liten grad blir gjort nytte av, og dermed ofte blir fraveket. Den totale bygningshøyden, og skole i drift, som diskutert i forrige delkapittel, er store utfordringer knyttet til å bygge på i høyden.

Et av punktene på listen er knyttet til valg av bygningskonsept/ - struktur. UBF forklarte i intervjuet at det blir gjort vurderinger av bæresystem gjennom mulighetsstudier i starten av prosjekter. Fure skriver at det burde utarbeides ulike konsepter med ulike materialer, eventuelt en kombinasjon av materialer, og at konseptet som oppfyller de satte mål, krav og rammer på en best mulig måte burde velges (2019). Som det ble konstatert av massivtreleverandørene vil en kombinasjon av massivtre og andre materialer gi en økt grad av tilpasningsdyktighet, og intervjupersonen fra UBF understreker at hvorvidt en kombinasjon av materialer blir vurdert avhenger av kompetansen til rådgiverne. Tidlig materialvalg påpekes både i litteratur og i intervjuene, og viktigheten av at materialvalget tas før arkitekten begynner å tegne understrekes (Fure, 2019; Aasen og Olsen, 2019).

Tidligere studier konkluderer med økt prosjektering og ressursbruk i tidligfase i prosjekter med massivtre (Østnor, 2018; Aasen og Olsen, 2019). Dette bekreftes gjennom intervjuene hvor flere av intervjuobjektene understreker at man må bruke mer tid og ressurser i tidligfase for å legge til rette for tilpasningsdyktighet. I tillegg til fokuset på klimagassregnskapet ved bruk av massivtre fokuseres det ofte i tillegg på andre miljøvennlige og innovative løsninger ved bygging av nye undervisningsbygg. Romsdal vgs. og Prinsdal skole ble, som eksempel, bygget etter passivhusstandard, mens Hadsel vgs. har 600 m<sup>2</sup> solcellepaneler og løsninger knyttet til gjenvinning av ventilasjonsluft. Tidligere studier konkluderer med at samspillsentrepriser kan være hensiktsmessige i slike prosjekter grunnet kompleksiteten til byggene (Erslund og Langseth Berg, 2017; Fure, 2019).

## 6 Konklusjon

Denne studien omfatter fem casestudier av kommunene Bergen, Oslo og Trondheim, samt fylkeskommunene Møre og Romsdal og Nordland. Diskusjonkapittelet i denne oppgaven tok for seg resultatene fra casestudiene og knyttet det opp mot teori fra teorikapittelet. Dette kapitlet vil oppsummere de viktigste funnene som besvarer oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål. Problemstillingen, og de tilhørende forskningsspørsmålene, til denne masteroppgaven er:

*Under hvilke forutsetninger er massivtre en god løsning for undervisningsbygg mtp. tilpasningsdyktighet?*

1. Hvorfor velger offentlige byggherrer å bygge nye undervisningsbygg i massivtre?
2. Hvilke bygningstekniske parametere er spesielt viktige i undervisningsbygg for å tilrettelegge for tilpasningsdyktighet?
3. Hvilke muligheter og begrensninger for endringer i undervisningsform og bruk ligger i valg av massivtre versus andre konstruksjonsprinsipper?
4. Hva vil være de viktigste hensynene å ta i planleggingen og prosjekteringen for å tilrettelegge for tilpasningsdyktighet i et undervisningsbygg i massivtre?

Konklusjonene som trekkes fra casestudiene presenteres i hvert sitt delkapittel, ett for hvert forskningsspørsmål.

### 6.1 Forskningsspørsmål 1

Gjennom intervjuene, samt tidligere studier, ble det kartlagt at offentlige byggherrer i stor grad velger å bygge nye undervisningsbygg i massivtre grunnet materialets positive innvirkning på klimagassregnskapet. Bakgrunnen for viktigheten av dette bunner i stor grad ut fra klima- og miljøstrategiene til de undersøkte caseobjektene. Oslo kommune og Bergen kommune har som mål å redusere klimagassutslipp i sine prosjekter, på hhv. 40% og 30%, sammenlignet med sine referanseprosjekter. I tillegg har to av de undersøkte kommunene, Trondheim og Bergen kommune, gjennomført prosjekter for å fremme treindustrien.

Andre grunner som trekkes frem i oppgaven er den positive innvirkningen på inneklimate, rask bygging og en byggeplass med lite støy og støv, som er fordelaktig ved bygging ved siden av, eller på, en skole i drift.

## 6.2 Forskningsspørsmål 2

Tabell 24 viser en oppdatert oversikt over sentrale bygningstekniske parametere mtp. tilpasningsdyktighet i et undervisningsbygg med utgangspunkt i Multiconsult sin definisjon (2007). Oppdateringen er gjort med bakgrunn i teori og dokumentstudie av kommunene og fylkeskommunenes krav og utforming av utvalgte undervisningsbygg, samt intervju med byggherrerepresentanter og RIBer.

**Tabell 24: Oversikt over viktige bygningstekniske parametere mtp. tilpasningsdyktighet i et undervisningsbygg**

Parametere av betydning for installasjonsplass og utstyr	Parametere av betydning for arealdisponering og tilgjengelighet	Parametere av betydning for utvidelsesmuligheter
Netto etasjehøyde	Spennvidder	Tomteforhold
Vertikale sjakter	Innvendige vegger og søyler	
Installasjonsplass over himling	Bygningsbredde	
	Lastkapasitet etasjeskiller	
	Areal pr. elev	
<b>Fleksibilitet og generalitet</b>		<b>Elastisitet</b>

## 6.3 Forskningsspørsmål 3

Et gjennomgående tema i denne oppgaven har vært massivtreelementenes begrensede spennvidde, som òg har vist seg å være en av de viktigste parametrene for tilpasningsdyktighet. Som etasjeskiller klarer massivtreelement et fritt spenn på 7-7,5 meter. Dersom det ønskes lengre spenn kan massivtreelementene brukes i kombinasjon med andre materialer, f.eks. sammen med limtrebjelker som kassedekker. Disse løsningene er mer kostbare enn vanlige massivtredekker, og valg av etasjeskiller vil dermed avhenge av hvor viktig tilpasningsdyktighet er for byggherren.

En fordel med å benytte massivtre, med tanke på fremtidige endringer, er mulighetene for hulltaking i elementene. Sammenlignet med kjerneboring i betong er dette en prosess med lite støy og støv, og overskuddsmaterialet er manuelt håndterbart. Større utsparinger må, som i andre materialer, undersøkes for reduksjon i lastkapasitet og stivhet.

En annen fordel med massivtre er at elementene skrus sammen ved oppføring av bygg, og kan på denne måten også skrus fra hverandre igjen. Hvorvidt elementene kan gjenbrukes andre steder i bygget, eller i andre bygg, avhenger av elementenes funksjon og oppbygning. Ved avhending kan elementene enkelt gjenvinnes, da massivtre er et rent materiale, sammenlignet med f.eks. betong med armering.



## 6.4 Forskningsspørsmål 4

De viktigste hensynene å ta i planleggingen og prosjekteringen av undervisningsbygg i massivtre, for å legge til rette for tilpasningsdyktighet er:

- Å ha et helhetlig perspektiv på tilpasningsdyktighet
  - o Tenke tilpasningsdyktighet fremfor fleksibilitet, generalitet eller elastisitet
- Vurdere hvor viktig tilpasningsdyktighet er, i form av tilleggsinvesteringer
- Vurdere om det er deler av bygget som burde være mer tilpasningsdyktige enn andre
- Undersøke fremtidige scenarioer og hvordan disse kan løses
- Tidlig materialvalg
  - o Ha et bæresystem som er tilpasset massivtre, og eventuelt limtre
- Undersøke kombinasjoner med andre materialer for å bøte på begrensningene til massivtre
- Involvere premissgivende aktører tidlig
  - o Samspill kan med fordel benyttes



## 7 Videre arbeid

I arbeidet med denne oppgave ble det kartlagt at utfordringer ved ombygginger i stor grad er knyttet til de tekniske fagene. Tema som det er behov for videre arbeid innen er akustikk- og brannutfordringer og tilpasningsdyktige ventilasjonsløsninger.

Grunnskoler inneholder noen spesialrom, mens det i videregående skoler er enda fler rom med spesielle funksjoner og utstyr knyttet til de yrkesfaglige linjene. Denne oppgaven er avgrenset til å kun ta for seg de generelle læringsarealene i grunnskoler og videregående skoler, og følgelig vil en undersøkelse av spesialarealene kunne være aktuelt for et videre studie.

Gjennom intervjuene ble også vanskeligheten av å evaluere tilpasningsdyktighet i konkurranser påpekt.



# Referanser

- Andersen, O.-E. (2018) *Lade skole*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1349617> (Hentet: 29.04.2020).
- Arge, K. (2003) *Generalitet, fleksibilitet og elastisitet i kontorbygninger: Hvilke typer tilpasningsdyktighet bør norske byggherrer velge, og hva velger de?* : SINTEF Byggforsk.
- Bergen kommune (2016a) Grønn Strategi - Klima- og energihandlingsplan for Bergen. Tilgjengelig fra: [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00271/Rapport\\_Gr\\_nn\\_Strat\\_271539a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00271/Rapport_Gr_nn_Strat_271539a.pdf).
- Bergen kommune (2016b) *Arealstandarder og kravspesifikasjoner for skoleanlegg*.
- Brekkehus, A. (2019) *Tilbygg Prinsdal skole*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1408148> (Hentet: 05.05.2020).
- Bygg21 (2018) *Bygg- og eiendomssektorens betydning for klimagassutslipp*. Tilgjengelig fra: [https://www.bygg21.no/contentassets/901dbc37a0c242229f4d8248a12919dc/33019\\_delrapport-3b\\_digitalt.compressed.pdf](https://www.bygg21.no/contentassets/901dbc37a0c242229f4d8248a12919dc/33019_delrapport-3b_digitalt.compressed.pdf) (Hentet: 09.12.2019).
- Byggemiljø (2007) *Byggsektorens klimagassutslipp*. Tilgjengelig fra: <http://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2015/01/Notat-klimagassutslipp-fra-byggsektoren21des06rev190407.pdf> (Hentet: 12.02.2020).
- Crocetti, R. et al. (2015) *Limtreboka*. Noske Limtreprodusenters Forening.
- Dale, O. H. (2015) *Ulsmågg skole*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1228229> (Hentet: 15.04.2020).
- Dalland, O. (2013) *Metode og oppgaveskriving*. 5.utgave, 2.opplag 2013. utg. Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Edvardsen, K. I. og Ramstad, T. Ø. (2014) *Trehus*. SINTEF akademisk forlag.
- Eggen Arkitekter (u.å) *Lade skole og idrettshall*. Tilgjengelig fra: <https://www.eggen-arkitekter.no/lade-skole-og-idrettshall/> (Hentet: 16.04.2020).
- Engbø, A. (2019) Intro til metode - en praktisk innføring. Blackboard: NTNU.
- Ersland, H. og Langseth Berg, E. (2017) *Hvorfor velger offentlige byggherrer samspillsentreprise ved bygging av miljøvennlige, innovative skolebygg?-En studie av tidligfasen*.
- FEF (2009) FEF's arealmodell - Brukerhåndbok.
- Fure, I. (2019) *Massivtre i skolebygninger*. Prosjektoppgave, NTNU.
- Hadsel videregående skole (2019) *Om oss* Tilgjengelig fra: <http://www.hadsel.vgs.no/om-skolen/om-oss/> (Hentet: 29.04.2020).
- Hegle, G. M. S. (2018) *Massivtre som byggemateriale: en studie av prosjekteringsprosessen og utformingen av undervisningsarealene i massivtreskoler*, Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Herskedal, K. (2017) *Romsdal vgs*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1333800> (Hentet: 29.04.2020).
- Hus Arkitekter (2014) *Nye Romsdal vgs blir prestisjeprosjekt for ny byggteknikk*. Tilgjengelig fra: <https://www.husark.no/nyheter/nye-romsdal-vgs-blir-prestisjeprosjekt-for-ny-byggteknikk> (Hentet: 16.04.2020).
- Iversen, L. (2011) *TID for TRE i fremtidens Bergen*. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/9437428-Tid-for-tre-i-fremtidsbyen-bergen.html> (Hentet: 12.05.2020).
- Jacobsen, D. I. (2015) *Hvordan gjennomføre undersøkelser? : innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. 3.utgave. utg. Oslo: Cappelen Damm akademisk.
- Kallmyr, K. (2004) *Utforming av fremtidas intensivenheter* (Hentet: 27.05.2020).

- Meld. St. 41 (2016-2017) (2016) *Klimastrategi for 2030 – norsk omstilling i europeisk samarbeid*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-41-20162017/id2557401/> (Hentet: 10.02.2020).
- Meld.St.28(2015-2016) (2016) *Fag - Fordypning - Forståelse - En fornyelse av Kunnskapsløftet*. Oslo: Kunnskapsdepartementet.
- Miljødirektoratet (2020) *Klimakur 2030: Tiltak og virkemidler mot 2030*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ny-rapport-om-hvordan-reducere-klimagassutslippene-i-norge/id2688324/> (Hentet: 10.02.2020).
- Multiconsult (2007) *Livsløpsplanlegging og tilpasningsdyktighet i bygninger*. (116042 / 400). Norge(Hentet: 10.02.2020).
- Møre og Romsdal fylkeskommune (2014) *Forprosjekt, K104 Romsdal videregående skole*.
- Møre og Romsdal fylkeskommune (2017) *Tverrfaglig prosjekteringsanvisning*.
- Møre og Romsdal fylkeskommune (2019) *Årsrapport 2019 - Bygg og eiendom*. Tilgjengelig fra: <https://arsrapport.mrfylke.no/2019/organisasjon/bygg-og-eigedom> (Hentet: 11.05.2020).
- Mørk, M. I. et al. (2008) *Ord og uttrykk innen eiendomsforvaltning - fasilitetsstyring*.
- Norconsult (2015) *Presentasjon av arealnormer for grunnskoler i fem kommuner*.
- Nordisk Massivtre (u.å) *Nordisk massivtre*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/aktuelt/brd-foredrag/Massivtre.pdf> (Hentet: 09.12.2019).
- Nordland fylkeskommune (2012) *Framtidens skoleanlegg i Nordland*.
- Nordland fylkeskommune (2014) *Regional plan - klimautfordringene i Nordland 2011-2020, Handlingsprogram 2014*. Tilgjengelig fra: [https://www.nfk.no/\\_f/p34/if3fc00ea-758a-4ca9-aa8c-062b5326c155/handlingsprogram\\_for\\_regional\\_klimaplan\\_2014.pdf](https://www.nfk.no/_f/p34/if3fc00ea-758a-4ca9-aa8c-062b5326c155/handlingsprogram_for_regional_klimaplan_2014.pdf) (Hentet: 11.05.2020).
- Nordland fylkeskommune (2016) *Byggemetode*. Tilgjengelig fra: <http://www.nyskole.no/2016/04/18/byggemetode/> (Hentet: 29.04.2020).
- Nordland fylkeskommune (2017) *154 millioner kroner til nytt skolebygg*. Tilgjengelig fra: <http://www.nyskole.no/2017/10/19/154-millioner-kroner-til-nytt-skolebygg/> (29.04.202).
- Nordland fylkeskommune (u.å) *Eiendomsseksjonen*. Tilgjengelig fra: <https://www.nfk.no/om-nordland-fylkeskommune/organisasjon/finans-og-organisasjon/eiendom/> (Hentet: 11.05.2020).
- Norsk Treteknisk Institutt (2006) *Håndbok: Bygge med massivtreelementer*.
- Ola Roald AS (u.å) *Ulsmåg barnsekole*. Tilgjengelig fra: <https://www.olaroald.no/new-page-1>.
- Opplæringsloven (1998) *Lov om grunnskolen og den videregående opplæringen* Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1998-07-17-61> (Hentet: 26.02.2020).
- Oslo Kommune (2015) *Standard kravspesifikasjoner 2015 - Skolebygg*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/1366537-1457946728/Tjenester%20og%20tilbud/Politikk%20og%20administrasjon/Anskaffelser/Standard%20kravspesifikasjoner/Standard%20kravspesifikasjon%20for%20Oskoleanlegg.pdf>.
- Oslo kommune (2017) *Forprosjekt - Prinsdal skole*.
- Oslo kommune (u.å-a) *Standard kravspesifikasjoner Oslo kommune*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/politikk-og-administrasjon/for-vare-leverandorer/standard-kravspesifikasjoner/> (Hentet: 03.12 2019).
- Oslo kommune (u.å-b) *Undervisningsbygg Oslo KF*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/politikk-og-administrasjon/etater-foretak-og-ombud/undervisningsbygg-oslo-kf/#gref> (Hentet: 03.12 2019).
- Oslo kommune (u.å-c) *Hva er en reguleringsplan*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/plan-bygg-og-eiendom/planforslag-og-planendring/hva-er-en-reguleringsplan/#gref> (Hentet: 02.05.2020).
- Overland, J.-A. (2018) *TONE - strategi for kildekritikk*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subjects/subject:14/topic:1:185701/resource:1:169741>.

- Romsdal vgs. (u.å) *Om skolen*. Tilgjengelig fra: <https://www.romsdal.vgs.no/Romsdal-VGS/Om-skolen> (Hentet: 16.04.2020).
- Rotvold, M. S. (2018) *Fysisk fleksibilitet i arkitektkonkurranser om nye skoler*, Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Rygh, P. (2018) *Massivtreelementer SNL*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/massivtreelementer> (Hentet: 09.12.2019).
- Rygh, P. (2019) *Etasjeskiller Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/etasjeskiller> (Hentet: 06.05.2020).
- Simensen, I., Mikalsen, K. S. og Jonassen, A. d. B. (2018) *Skolen ble bygget i 2005, nå må de stenge*, NRK. Tilgjengelig fra: [https://www.nrk.no/osloogviken/skolen-ble-bygget-i-2005\\_-na-ma-den-stenges-1.14111950](https://www.nrk.no/osloogviken/skolen-ble-bygget-i-2005_-na-ma-den-stenges-1.14111950) (Hentet: 04.05.2020).
- SINTEF Byggforsk (2002) 379.320 *Plassbehov for føringsveier til tekniske installasjoner*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/3070/plassbehov\\_for\\_foeringsveier\\_til\\_tekniske\\_installasjoner](https://www.byggforsk.no/dokument/3070/plassbehov_for_foeringsveier_til_tekniske_installasjoner) (Hentet: 05.05.2020).
- SINTEF Byggforsk (2004) 344.110 *Tilpasningsdyktige kontorbygninger*.
- SINTEF Byggforsk (2009a) 522.891 *Etasjeskillere i massivtre*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/3367/522891\\_etasjeskillere\\_i\\_massivtre](https://www.byggforsk.no/dokument/3367/522891_etasjeskillere_i_massivtre) (Hentet: 13.05.2020).
- SINTEF Byggforsk (2009b) 342.205 *Grunnskolebygg. Funksjoner og arealer*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/131/grunnskolebygg\\_funksjoner\\_og\\_arealer](https://www.byggforsk.no/dokument/131/grunnskolebygg_funksjoner_og_arealer) (Hentet: 26.02.2020).
- SINTEF Byggforsk (2009c) *Grunnskolebygg. Eksempler*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/133/grunnskolebygg\\_eksempler#i02](https://www.byggforsk.no/dokument/133/grunnskolebygg_eksempler#i02) (Hentet: 26.02.2020).
- SINTEF byggforsk (2013) 720.605 *Hulltaking i vegger og etasjeskillere/dekker*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/664/hulltaking\\_i\\_vegger\\_og\\_etasjeskilleredekker#i8](https://www.byggforsk.no/dokument/664/hulltaking_i_vegger_og_etasjeskilleredekker#i8) (Hentet: 13.05.2020).
- SNL (2018) *Skole Store Norske Leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/skole> (Hentet: 2019.09.30).
- SPINN Arkitekter (2020) *Prinsdal*. Tilgjengelig fra: <http://spinnark.no/prinsdal> (Hentet: 10.03.2020).
- Standard Norge (2018) NS 11001-1:2018 *Universell utforming av byggverk Del 1: Arbeids- og publikumsbygninger*. (Hentet: 07.05.20).
- Statistisk Sentralbyrå (2019a) *Elevar i grunnskoleutdanning, etter region, årstrinn, eierforhold, institusjonstype, statistikkvariabel og år*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/05232/chartViewLine/> (Hentet: 02.05.2020).
- Statistisk Sentralbyrå (2019b) 11971: *Antall kommunale grunnskoler og antall elever i kommunale grunnskoler, etter region, statistikkvariabel og år*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/11971/tableViewLayout1/> (Hentet: 12.05.2020).
- Statistisk Sentralbyrå (2019c) 12187: *Antall skoler og elever i videregående utdanning, etter eierforhold, region, statistikkvariabel og år*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/12187/tableViewLayout1/> (Hentet: 12.05.2020).
- Storstrand, E. (2014) *Trender i nye grunnskolebygg*.
- TEK (2017) *Teknisk forskrift*. Tilgjengelig fra: [https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/5/5-6/?\\_t\\_id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCf%3d%3d&\\_t\\_q=MUA&\\_t\\_tags=language%3ano%2csiteid%3aa8fed669-6208-4354-8fe6-9c93cb91a133&\\_t\\_ip=62.16.233.170%3a55287&\\_t\\_hit.id=EPiServer\\_Templates\\_DIBK\\_PageTypes\\_Veiledninger\\_ParagrafPageType/\\_9fdd4811-b9a0-45cb-8f14-d521f805299f\\_no&\\_t\\_hit.pos=1](https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/5/5-6/?_t_id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCf%3d%3d&_t_q=MUA&_t_tags=language%3ano%2csiteid%3aa8fed669-6208-4354-8fe6-9c93cb91a133&_t_ip=62.16.233.170%3a55287&_t_hit.id=EPiServer_Templates_DIBK_PageTypes_Veiledninger_ParagrafPageType/_9fdd4811-b9a0-45cb-8f14-d521f805299f_no&_t_hit.pos=1) (Hentet: 11.05.2020).
- TreFokus (2011) *Massivtre, Fokus på tre*.

- Trondheim kommune (2011) *TREbyentrondheim*. Tilgjengelig fra: <http://www.tresenter.no/resources/filer/TREbyentrondheim-pdf-.pdf> (Hentet: 11.05.2020).
- Trondheim kommune (2016a) *Forprosjekt, Lade skole*.
- Trondheim kommune (2016b) *Prosjekteringsanvisning skolebygg*.
- Trondheim kommune (2018) *Miljøstrategi for bygg 2018-2022*. Tilgjengelig fra: <https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/miljoenheten/klima-og-energi/miljostrategi-for-bygg-2018-22.pdf> (Hentet: 11.05.202).
- Trondheim kommune (2020) *Trondheim i tall* (Hentet: 14.05.2020).
- Trondheim kommune (u.å) *Trondheim Eiendom*. Tilgjengelig fra: <https://www.trondheim.kommune.no/trondheim-eiendom/> (Hentet: 11.05.202).
- UBF (2018) *Miljø- og energistrategi 2018-2020*. Tilgjengelig fra: [https://issuu.com/millimeterpress/docs/miljostrategi\\_2018\\_2020\\_web](https://issuu.com/millimeterpress/docs/miljostrategi_2018_2020_web) (Hentet: 03.12.2019).
- Udir (2019) *Våre oppgaver*. Tilgjengelig fra: <https://www.udir.no/om-udir/vare-oppgaver/> (Hentet: 26.02.2020).
- Utdanningsdirektoratet (2018) *Hva er fagfornyelsen?* Tilgjengelig fra: <https://www.udir.no/laring-og-trivsel/lareplanverket/fagfornyelsen/nye-lareplaner-i-skolen/> (Hentet: 20.03.2020).
- Valen, M. S. og Larssen, A.-K. (2006) *Adaptability of Hospitals: Capability of Handling Physical Changes*.
- Vognild, H. (2016) *Fakta om Nordland*. Tilgjengelig fra: <https://www.nfk.no/om-nordland-fylkeskommune/om-nordland/> (Hentet: 19.05.2020).
- Wahlstrøm, S. K., Tore (2019) *Erfaringer med bygging i massivtre*. Tilgjengelig fra: [https://static1.squarespace.com/static/54ff1c6be4b0331c79072679/t/5c6a67f7fa0d603257470372/1550477311493/Byggeindustrien+NTNU+03\\_s43.pdf](https://static1.squarespace.com/static/54ff1c6be4b0331c79072679/t/5c6a67f7fa0d603257470372/1550477311493/Byggeindustrien+NTNU+03_s43.pdf).
- Yin, R. K. (2014) *Case Study Research - Design and Methods*. 5. utg. SAGE Publisher, Inc.
- Østnor, T. (2018) *Massivtre og Plastøpt betong: en casestudie-forskjeller, erfaringer og forbedringspotensial*, NTNU.
- Aasen, A. F. og Olsen, L.-M. V. (2019) *Byggeprosjekter i massivtre: En kasusstudie om ressursbruk som følge av bæresystem i massivtre, sett gjennom et utvalg Veidekke-prosjekter*, NTNU.
- Aasheim, P. A. og Lier, B. (2017) *Markedsanalyse massivtre markedet i Norge 2017-2024*. TreBruk AS.



# Vedlegg

**Vedlegg 1:** Litteratursøk, logg

**Vedlegg 2:** Litteratursøk, resultat

**Vedlegg 3:** Oversikt over undervisningsbygg i Norge med massivtre i bærekonstruksjon

**Vedlegg 4:** Intervjuguide, byggherre og rådgivende ingeniør bygg

**Vedlegg 5:** Intervjuguide, massivtreleverandører

**Vedlegg 6:** Sammendrag av konferanseartikkel



# Vedlegg

## Vedlegg 1 – Litteratursøk, logg

Søkefrase/Database	Filter	Oria	Google Scholar	Web of Science	Scopus
Massivtre i bygninger		15	201		
	OR byggeprosjekt	143	198		
	AND offentlige	2	104		
	AND skole	1	93		
Massivtre i offentlige bygninger		2	128		
Massivtre i skolebygninger		1	28		
Massivtre i byggeprosjekter		2	106		
Massivtre i offentlige byggeprosjekter		0	73		
Mass timber buildings				204	406
	AND school			3	77
	AND nonresidential				
	AND design AND Cross laminated			47	136
Tilpasningsdyktighet i bygninger		10	1030		
	AND offentlige	3	847		
Fleksibilitet i bygninger		80	12100		
	AND offentlige	12	9390		
	AND skole	6	6730		
Adaptability in buildings				1319	2230
	After 2015			595	823



## Vedlegg 2 – Litteratursøk, resultat

Tittel	Type dokument	År	Forfatter	Land/ Institusjon	Nøkkelord	Søkemotor	T	O	N	E
Byggeprosjekter i massivtre: En kasusstudie om ressursbruk som følge av bæresystem i massivtre	Bacheloroppgave	2019	Aasen, Audun Flaget; Olsen, Lise-Marie Valle	Norge/ NTNU	Massivtre, Byggeprosjekt, Veidekke, Ressursbruk	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Ja
Hvorfor velger byggherrer samspillsentreprise ved bygging av miljøvennlige, innovative skolebygg? - En studie av tidligfasen	Masteroppgave	2017	Ersland, Håvard; Langseth Berg, Even	Norge/ Høgskolen i Innlandet	Ingen nøkkelord oppgitt	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Ja
Massivtre som byggemateriale: en studie av prosjekteringsprosessen og utformingen av undervisningsarealene i massivtreskoler	Masteroppgave	2018	Hegle, Gina Marie Schøien	Norge/NMBU	Ingen nøkkelord oppgitt	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Ja
Miljø som utvelgelseskriterium for leverandører for bygging og prosjektering av nye videregående skoler	Masteroppgave	2018	Meziani, Youssef el	Norge/NMBU	Ingen nøkkelord oppgitt	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Nei
Industrielt trebyggeri: Erfaringer fra norske prosjekter		2011	Nord, Tomas	Norsk Treteknisk Institutt	Trebyggeri, industrialisering, systematisering	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Nei
Sammenligning av klimagassutslipp fra passivhus og TEK10-bygg - En casestudie av Lade skole	Masteroppgave	2017	Presthus, Mona	NTNU	LCA, klimagassutslipp, energiforsyning, LCC	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Nei
Fysisk fleksibilitet i arkitektkonkurranse om nye skoler	Masteroppgave	2018	Rotvold, Magnus Storås	NMBU	Ingen nøkkelord oppgitt	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Ja

Verdiskapningsmuligheter i Trøndelag ved økt bruk av tre i byggemarkedet	Arbeidsnotat	2016	Sand, Roald; Stene, Morten	Trøndelag Forskning og Utvikling	Verdiskapning, skognæring, treindustri, trebruk, byggenæring, massivt tre, trelast, Trøndelag	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Nei
Innovative offentlige anskaffelser som klimapolitisk virkemiddel: en case-studie om betydningen av offentlige anskaffelser for grønn innovasjon i norsk byggsektor	Masteroppgave	2018	Gjerstad, Siv Helén Egelund	UiO	Ingen nøkkelord oppgitt	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Nei
Økonomisk lønnsomhet ved bruk av bæresystemer i massivtre	Masteroppgave	2014	Finstad, Thomas	NMBU	Ingen nøkkelord oppgitt	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Ja
Fremtidig konkurransevne for norsk treverk som bygningsmateriale	Masteroppgave	2015	Waage, Haakon Lunøe; Lundby, Henning Øwre	NTNU	Governmental influence, timber competitiveness, technical regulations, market projections	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Ja
Bygg fremtiden! Innovasjonsstrategi for bygg-, anleggs- og eiendomsnæringen i. Norge	Rapport	2003	Ørstavik, Finn		Ingen nøkkelord oppgitt	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Nei
Massivtre og plasstøpt betong: en casestudie - forskjeller, erfaringer og forbedringspotensial	Masteroppgave	2018	Østnor, Torstein	Norge/NTNU	Massivtre/CLT, Betong, Forskjeller, Prosjektering og produksjon	Google Scholar, Oria	Ja	Ja	Ja	Ja
Tre i by - Hvilke mekanismer styrer materialvalget for urbane byggverk?	Prosjektrapport	2007	Denizou, Karine; Hveem, Sigurd; Time, Berit	Norge/ SINTEF Byggforsk	Byggeprosess, byggeprosjekt, byggesak og tre	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Ja

Livsløpsanalyse av Ydalir skole	Masteroppgave	2019	Nilsen, Thomas Thauland; Miftari, Atdhe; Mjelde, Øyvind Brakvatne		Ingen nøkkelord oppgitt	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Nei
Prosjekt- og porteføljestyring av utredninger og bestillinger av skolebygg i Oslo kommune	Masteroppgave	2016	Småstu, Torild	Norge/NTNU	Konseptvalgutredninger, skolebygg, porteføljestyring, investeringer	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Nei
Bruk av tre i offentlige bygg	Rapport	2016		Asplan Viak	Ingen nøkkelord oppgitt	Google Scholar	Ja	Ja	Ja	Ja
Unitised timber envelopes. A novel approach to the design of prefabricated mass timber envelopes for multi-storey buildings	Journal artikkel	2019	Gasparri, E. Aitchison, M.	The University of Sydney	CLT, Facade design, industrialised building, joint design, tall timber construction, timber prefabrication	Scopus	Ja	Ja	Ja	Nei
Mass timber construction in Australia and New Zealand - status, and economic and environmental influences on adoption	Journal artikkel	2018	Evison, David C. Kremer, Paul D. Guiver, Jason	Australia and New Zealand	Architectural design, commerce, competition, design, laminating, non-residential buildings, non-residential constructions, prefabrication, timber construction	Scopus	Ja	Ja	Ja	Nei
Solid wood - Case studies in mass timber architecture, technology and design	Bok	2015	Mayo, Joseph	USA	Ingen nøkkelord oppgitt	Web of Science	Ja	Ja	Ja	Ja

Design and construction of a 53-meter-tall timber building at the university of british Columbia	Konferanse artikkel	2016	Poirer, Erik; Moudgil, Manu; Fallahi, Azadeh; Staub-French, Sheryl; Tannert, Thomas;	Canada/UBC	Tall Wood construction, Hybrid Structure, Site Specific Regulations, Building Monitoring	Web of Science	Ja	Ja	Ja	Nei
--	---------------------	------	--	------------	--	----------------	----	----	----	-----



Vedlegg 3: Oversikt over undervisningsbygg i Norge med massivtre i bærekonstruksjon\*

Undervisningsbygg	Type skole	Type bygg	Byggherre	Ferdigstillelse	Areal	Beskrivelse
Bjørkelangen skole	Kombinasjonsskole	Ny skole med kulturskole og kultursal	Aurskog-Håland kommune	November 2017	13.500 m <sup>2</sup>	Bæring i stål og betong i kulturskolen og kultursalen, grunnet spesifikke krav til høyde på store rom, og høye krav til løsninger for akustikk. Flerbrukshallen, skolefløyene og administrasjonsfløyen har bæresystem i massivtreelementer.
Buskerud vgs.	Videregående skole	Nybygg, internat	Buskerud fylkeskommune	Desember 2019	640 m <sup>2</sup>	Ingen undervisningslokaler.
Bø skole	Barneskole		Hå kommune			Prosjektert som en massivtreskole. Støttemurer i betong der skolen møter terrenget i bakkant og der det er nødvendig.
<i>Evenes skole</i>	<i>Kombinasjonsskole</i>	<i>Nybygg med flerbrukshall og svømmebasseng</i>	<i>Evenes kommune</i>	<i>August 2020 (skole) Juni 2021 (flerbrukshall)</i>	<i>4.990 m<sup>2</sup></i>	
Evjen skole	Barneskole, 4.-7.trinn	Ny skole	Orkdal kommune	Feb/Mars 2018	1.800 m <sup>2</sup>	Søyle- /bjelkesystem i limtre. Ribbedekker av massivtre med avstivende veggskiver, sjakter og innvendig trapp i massivtre. Innvendige vegger i eksponert massivtre eller kledning i tre.
Flesberg skole	Kombinasjonsskole	Ny skole med svømmehall og idrettshall	Flesberg kommune/ Kongsberg	Høst 2019	7.800 m <sup>2</sup>	

			kommunale eiendom KF			
Gjennstad vgs.	Videregående skole	Nybygg	Vestfold og Telemark fylkeskommune	Januar 2020		Undervisningsrom i første etasje, og kontor i andre.
Hadeland vgs.	Videregående skole	Ny skole	Oppland fylkeskommune	2012	19.000 m <sup>2</sup>	Vegg- og takelementer i biblioteket i massivtre.
Hadsel vgs.	Videregående skole	Tilbygg	Nordland fylkeskommune	August 2019	3.000 m <sup>2</sup>	Massivtre og limtre i både bærende konstruksjon og etasjeskillere. Kombinasjon av massivtre, limtre, bindingsverk og knutepunkter i stål.
Hanstad skole	Kombinasjonsskole	Nybygg, paviljong	Elverum kommune		590 m <sup>2</sup>	
Hoppern skole	Ungdomsskole	Ny skole	Moss kommune	August 2019	9.900 m <sup>2</sup>	
Horten vgs.	Videregående skole	Ny skole	Vestfold fylkeskommune	Høst 2019	18.000 m <sup>2</sup>	Kombinasjon av stål, betong og massivtre. Dekker i massivtre. Utstrakt bruk av tre i interiør.
<i>Huseby skole</i>	<i>Kombinasjonsskole</i>	<i>Ny skole</i>	<i>Trondheim kommune</i>	<i>Høst 2021</i>		
Jendem skole	Barneskole	Tilbygg	Fræna kommune	November 2019	1970 m <sup>2</sup>	
Karlshus skole	Barneskole	Tilbygg	Råde kommune	Desember 2017	2.700 m <sup>2</sup>	
Kongeveien skole	Barneskole	Ny skole	Halden kommune	Oktober 2018	6.600 m <sup>2</sup>	Massivtre som bærekonstruksjon, med lettak og utvendig kledning i teglstein og panel. Teglsteinfasaden går gjennom bygget.
Kongsvinger ungdomsskole	Ungdomsskole	Ny skole	Kongsvinger kommune v/ KKEiendom	Høst 2018	11.360 m <sup>2</sup>	Massivtre i bærende konstruksjoner som yttervegger, dekker og avstivende innervegger, samt i

						utvendig kledning. Limtre i dragere og søyler.
Lade skole	Kombinasjonsskole	Ny skole	Trondheim kommune	Mai 2018	11.000 m <sup>2</sup>	Søyler og dragere i limtre, med unntak av vestibylområdet, hvor store spennlengder tilsa bruk av stål og betong. Noen bærende massivtrevegger og dekker i massivtre. Utvendig fasade og innvendige vegger i tre.
Leangen skole	Barnehage og kombinasjonsskole	Ny skole med flerbrukshall	Lyngen kommune	2018	2.000 m <sup>2</sup>	Massivtre i bærende konstruksjoner, etasjeskillere og tak.
Mysen vgs.	Videregående skole	Tilbygg	Østfold fylkeskommune	Vår 2014	1.100 m <sup>2</sup>	
Nardo skole	Barneskole		Trondheim kommune	September 2008	6.600 m <sup>2</sup>	Plan 0 i plasstøpt betong, mens plan 1 og 2 har bærende konstruksjon i massivtre og limtre. Etasjeskillere i hulldekker og tak i massivtre.
Nordre-Ål	Barneskole	Ny skole med flerbrukshall	Lillehammer kommune	August 2019	8.400 m <sup>2</sup>	Kombinasjon av massivtre-, limtre- og betongkonstruksjoner. Nederste plan, samt heissjakt og trappehus i betong. Innvendige trapper og amfi i tre.
<i>Nøklevann skole</i>	<i>Barneskole</i>	<i>Nybygg</i>	<i>Oslo kommune v/ Undervisningsbygg Oslo KF</i>	<i>Vinter 2021</i>	<i>3.800 m<sup>2</sup></i>	<i>Kombinasjon av limtre og CLT i bærekonstruksjonen.</i>
Prinsdal skole	Barneskole	Tilbygg	Oslo kommune v/ Undervisningsbygg Oslo KF	September 2019	1.350 m <sup>2</sup>	Massivtreelementer, limtre og både fasader og tak er kledd i tre.
Romsdal vgs.	Videregående skole	Nybygg	Møre og Romsdal fylkeskommune	Desember 2017	12.300 m <sup>2</sup>	Bærekonstruksjon i massivtre og limtre med begrenset bruk

						av betongkonstruksjoner der det er jordtrykkskrefter. Dekker, samt yttervegger og innvendige bærende vegger er løst ved bruk av en kombinasjon av massivtre og limtre.
Sjetne skole	Kombinasjonsskole	Tilbygg	Trondheim kommune		2.800 m <sup>2</sup>	Bæresystem i massivtre. Omkring halvparten av de synlige veggene inne i bygget er i massivtre.
<i>Sofie Radich</i>	<i>Ungdomsskole</i>	<i>Ny skole</i>	<i>Lillestrøm kommune</i>	<i>August 2021</i>	<i>10.500 m<sup>2</sup></i>	
<i>Stokmarknes skole</i>	<i>Ungdomsskole</i>	<i>Ny skole</i>	<i>Hadsel kommune</i>	<i>Sommer 2020</i>	<i>4.250 m<sup>2</sup></i>	
Sydsbogen skole		Ny skole	Røyken kommune	August 2019	5.372 m <sup>2</sup>	Underetasje i betong med innvendige skillevegger i massivtre. Massivtre i øvrige etasjer.
<i>Torvbråten skole</i>	<i>Barneskole</i>	<i>Ny skole med flerbrukshall</i>	<i>Røyken kommune</i>	<i>Januar 2021</i>	<i>6.700 m<sup>2</sup></i>	
Tvedestrand vgs.	Videregående skole		Aust-Agder fylkeskommune			Massivtre i utvalgte innervegger og trevirke i bærekonstruksjon.
Ulsmåg skole	Barneskole	Ny skole	Bergen kommune	Desember 2014	6.804 m <sup>2</sup>	Heissjakt og mur mot løsmasser på skolens bakside i betong. Resterende bærevegger i massivtreelementer og dekker av trebjelkelag dekket av finér.
Vestsiden skole	Kombinasjonsskole	Ny skole med flerbrukshall	Kongsberg kommune v/ Kongsberg kommunale eiendom (KKE)	Juni 2019	6.900 m <sup>2</sup>	Bærende- og ikkebærende vegger, samt dekker og trapper oppført i massivtre. Grunnet store spenn ble det benyttet ribbedekker i

						etasjeskillere hvor det var nødvendig. Flerbrukshall med kombinasjon av betong og massivtrevegger, og limtrebæring i taket.
Voss vgs.	Videregående skole	Ny skole for yrkesfaglige linjer med flerbrukshall	Hordaland fylkeskommune		11.400 m <sup>2</sup>	Massivtrevegger i bærekonstruksjonen.
Ydalir skole	Barneskole	Ny skole	Elverum kommune	Mai 2019	6.600 m <sup>2</sup>	Bæring i massivtre i innervegger, yttervegger og dekker. Påhengsfasadeelementer i tre.
Ytre Enebakk skole	Barneskole	Ny skole med flerbrukshall	Enebakk kommune	2018	8.440 m <sup>2</sup>	Kombinasjon av trekonstruksjoner som gittertakstoler, søyler og bjelker i limtre, CLT dekker- og vegger, samt påhengte yttervegger i treverk. Bæresystemet i mini-flerbrukshallen i tre, bortsett fra en stålbjelke i taket.
Østensjø skole	Barneskole	Nybygg, to stk	Oslo kommune v/ Undervisningsbygg Oslo KF	Februar 2020	4.000 m <sup>2</sup>	
Åsveien skole	Barneskole	Ny skole med flerbrukshall	Trondheim kommune	Desember 2014	11.011 m <sup>2</sup> (Skole: 8.737 m <sup>2</sup> , Hall: 2.418 m <sup>2</sup> )	Bærende konstruksjoner og innvendige vegger i massivtre og limtre. Trekledning i fasade.

\*Prosjektene markert i kursiv er ikke ferdigstilt på nåværende tidspunkt



Vedlegg 4: Intervjuguide, byggherre og rådgivende ingeniør bygg

## Intervjuguide

Prosjektutviklere, - ledere og RIB

# Tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg i massivtre

### Introduksjon

Dette er en intervjuguide utarbeidet av Irene Fure ved institutt for bygg- og miljøteknikk, NTNU. Intervjuene vil bli benyttet i forbindelse med en masteroppgave med problemstillingen: «Under hvilke forutsetninger er massivtre en god løsning for undervisningsbygg?». Oppgaven skrives med ønske fra Undervisningsbygg Oslo KF.

Hensikten med intervjuene er å samle erfaringer og meninger fra personer som vurderes å ha en spesiell kompetanse om temaet, som her er prosjektutviklere og spesielle rådgivere for utvikling av nye undervisningsbygg. Ved hjelp av litteratursøk og intervju vil det bli forsøkt å finne svar på forskningsspørsmål nummer 1.

### Forskningsspørsmål:

1. Hvilke bygningstekniske parametere er spesielt viktige for undervisningsbygg?
2. Hvorfor velger offentlige byggherrer å bygge nye undervisningsbygg i massivtre?
3. Hvilke muligheter og begrensninger for endringer i undervisningsform og bruk ligger i valg av massivtre versus andre konstruksjonsprinsipper?
4. Hva vil være de viktigste hensynene å ta i prosjekteringen for å tilrettelegge for tilpasningsdyktighet i et undervisningsbygg i massivtre?

### Prosedyre

Intervjuguiden er en veiledning som følger forskningsspørsmålene. Dette er en utforskende studie hvor undertegnede ønsker end dialog med deltakeren. Deltakeren oppfordres til å ta opp punkter som ikke er adressert i intervjuguiden, eller som han/hun mener burde vært adressert i intervjuguiden.

1. Det er ønskelig å bruke lydopptak av intervjuene for å sikre fullstendige notater, samt unngå forstyrrelser og brudd på samtaleflyt slik som notering underveis kan medføre.
2. Det transkriberte intervjuet vil bli sendt til den intervjuede i etterkant for gjennomlesing om det er ønskelig.
3. Om den intervjuede ønsker å være anonym blir dette tatt hensyn til.
4. Intervjuet antas å ta rundt 40-50 min

*Dette er en intervjuguide hvor det er tatt hensyn til at det skal intervjues forskjellige aktører med forskjellige roller. Noen spørsmål er derfor rettet mot spesifikke aktører og er dermed nødvendigvis ikke relevant for andre.*

### Tidligere erfaring:

1. Din bakgrunn og arbeidserfaring

### Tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg:

2. Hvor tilpasningsdyktige er dagens eksisterende undervisningsbygg?
3. Hvilke krav til tilpasningsdyktighet stilles normalt ved bygging av nye undervisningsbygg?
  - a. Er disse kravene tilfredsstillende?
4. Hvilken type tilpasningsdyktighet er viktigst i et undervisningsbygg? (generalitet, fleksibilitet, elastisitet)
5. Hvor viktig er tilpasningsdyktighet for kommunale byggherrer?
  - a. Kan det være aktuelt å benytte tilpasningsdyktighet som et tildelingskriterium i vurdering av anbud?
6. I hvilke typer rom/soner i undervisningsbygg er det hyppigst behov for endring?
  - a. Hva er, som oftest, grunnen til disse endringene?
  - b. Hvor komplekse er disse endringene?
7. Hvilke rom/soner er vanskeligst å bygge om/gjøre endringer i?
8. Hvilke rom/soner er enklest å bygge om/gjøre endringer i?
9. Hvilke rom/soner er mest kostbare å bygge om/gjøre endringer i?

### Viktige bygningstekniske parametere:

10. Hvilke bygningstekniske egenskaper ved et undervisningsbygg skaper størst problemer under en ombygging?

Figur 1 er utarbeidet av Multiconsult som del av en veileder om tilpasningsdyktighet og viser de viktigste bygningstekniske parametrene som er av betydning under planleggingen av et nytt bygg med fokus på tilpasningsdyktighet.

Parametere av betydning for installasjonsplass og utstyr	Parametere av betydning for arealdisponering og tilgjengelighet	Parametere av betydning for utvidelsesmuligheter
Tekniske mellometasjer	Mulighet for frie flater (spennvidder)	Tomteforhold (mulighet for tilbygg)
Netto etasjehøyde	Bredde kommunikasjonsveier	Lastkapasitet bæresystem (mulighet for påbygg)
Vertikale sjakter/ installasjonsplass	Innervegger (tunge/ lette konstruksjoner)	
Mulighet for hulltaking i dekke	Bygningsbredde	
Lastkapasitet dekke	Arealmengde pr etasje	
<i>Fleksibilitet og generalitet</i>		<i>Elastisitet</i>

Figur 1: Sentral parametere for tilpasningsdyktighet (Multiconsult, 2007)

11. Hvilke av parametrene i figur 1 anser du som spesielt viktige i planleggingen av et nytt undervisningsbygg?
12. Hvilke av parametrene i figur 1, om du gjør, anser du som irrelevante for undervisningsbygg?



13. Hvilke andre parametere, som ikke er vist i figur 1, anser du som spesielt viktig for undervisningsbygg mtp. tilpasningsdyktighet?

#### **Massivtre i undervisningsbygg:**

14. Hvorfor velger offentlige byggherrer å bygge nye undervisningsbygg i massivtre?
15. Hvilke utfordringer mtp. tilpasningsdyktighet fremkommer av et valg om å benytte massivtre?
  - a. Hvordan kan disse utfordringene løses?
16. Vil valget om å benytte massivtre i et undervisningsbygg føre til at ombygginger blir mer komplekse enn ved bruk av andre konstruksjonsprinsipper?
17. Er det noen fordeler ved å bruke massivtre i undervisningsbygg fremfor andre konstruksjonsprinsipper mtp. tilpasningsdyktighet?
18. Tidligere studier viser at løsninger knyttet til brann og akustikk er hovedutfordringene ved å benytte massivtre i bygninger. Disse utfordringene vil trolig fortsatt være tilstede ved en ombygging. Hvordan bør man gå frem i planleggingen for å minimere disse utfordringene?
19. Hvordan er mulighetene for gjenbruk av materialer under ombygging i et undervisningsbygg i massivtre sammenlignet med andre materialer?
20. Hvilke av parameterne i figur 1 er spesielt utfordrende grunnet valget om å benytte massivtre?

#### **Avslutning**

1. Er det noe jeg burde spørre om, eller er det noe du mener er viktig som jeg ikke har spurt om?
2. Er det greit om jeg kontakter deg i ettertid, om det kommer opp noe jeg har glemt å spørre om?

**Takk for din tid og ditt bidrag!**

**Med vennlig hilsen**

**Irene Fure**



Vedlegg 5: Intervjuguide, massivtreleverandører

## Intervjuguide

Massivtreleverandører

# Tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg i massivtre

### Introduksjon

Dette er en intervjuguide utarbeidet av Irene Fure ved institutt for bygg- og miljøteknikk, NTNU. Intervjuene vil bli benyttet i forbindelse med en masteroppgave med problemstillingen: «Under hvilke forutsetninger er massivtre en god løsning for undervisningsbygg?». Oppgaven skrives med ønske fra Undervisningsbygg Oslo KF.

Hensikten med intervjuene er å samle erfaringer og meninger fra personer som vurderes å ha en spesiell kompetanse om temaet, som her er prosjektutviklere og spesielle rådgivere for utvikling av nye undervisningsbygg. Ved hjelp av litteratursøk og intervju vil det bli forsøkt å finne svar på forskningsspørsmål nummer 1.

### Forskningsspørsmål:

1. Hvilke bygningstekniske parametere er spesielt viktige for undervisningsbygg?
2. Hvorfor velger offentlige byggherrer å bygge nye undervisningsbygg i massivtre?
3. Hvilke muligheter og begrensninger for endringer i undervisningsform og bruk ligger i valg av massivtre versus andre konstruksjonsprinsipper?
4. Hva vil være de viktigste hensynene å ta i prosjekteringen for å tilrettelegge for tilpasningsdyktighet i et undervisningsbygg i massivtre?

### Prosedyre

Intervjuguiden er en veiledning som følger forskningsspørsmålene. Dette er en utforskende studie hvor undertegnede ønsker end dialog med deltakeren. Deltakeren oppfordres til å ta opp punkter som ikke er adressert i intervjuguiden, eller som han/hun mener burde vært adressert i intervjuguiden.

1. Det er ønskelig å bruke lydopptak av intervjuene for å sikre fullstendige notater, samt unngå forstyrrelser og brudd på samtaleflyt slik som notering underveis kan medføre.
2. Det transkriberte intervjuet vil bli sendt til den intervjuede i etterkant for gjennomlesing om det er ønskelig.
3. Om den intervjuede ønsker å være anonym blir dette tatt hensyn til.
4. Intervjuet antas å ta rundt 40-50 min

*Dette er en intervjuguide hvor det er tatt hensyn til at det skal intervjues forskjellige aktører med forskjellige roller. Noen spørsmål er derfor rettet mot spesifikke aktører og er dermed nødvendigvis ikke relevant for andre.*

### **Tidligere erfaring:**

1. Din bakgrunn og arbeidserfaring

### **Massivtre og limtre**

2. Finnes det en fellesbetegnelse for begrepene massivtre og limtre?
3. Erfarer dere ofte feilbruk av begrepene massivtre og limtre?

### **Tilpasningsdyktighet i undervisningsbygg i massivtre og/eller limtre:**

4. Hvilke krav til tilpasningsdyktighet stilles normalt ved bygging av et nytt undervisningsbygg i massivtre/limtre?
5. Hvilke utfordringer mtp. tilpasningsdyktighet fremkommer av et valg om å benytte massivtre?
  - a. Hvordan kan disse utfordringene løses?
6. Vil valget om å benytte massivtre i et undervisningsbygg føre til at ombygginger blir mer komplekse enn ved bruk av andre konstruksjonsprinsipper?
7. Er det noen fordeler ved å bruke massivtre i undervisningsbygg fremfor andre konstruksjonsprinsipper mtp. tilpasningsdyktighet?
8. Tidligere studier viser at løsninger knyttet til brann og akustikk er hovedutfordringene ved å benytte massivtre i bygninger. Disse utfordringene vil trolig fortsatt være tilstede ved en ombygging. Hvordan bør man gå frem i planleggingen for å minimere disse utfordringene?
9. Hvilke rom/soner er vanskeligst å bygge om/gjøre endringer i?
10. Hvilke rom/soner er enklest å bygge om/gjøre endringer i?
11. Hvilke rom/soner er mest kostbare å bygge om/gjøre endringer i?
12. Vil en kombinasjon av massivtre og andre materialer være med på å øke tilpasningsdyktigheten?
13. Hvordan er mulighetene for gjenbruk av materialer under ombygging i et undervisningsbygg i massivtre?

## Viktige bygningstekniske parametere:

Figur 1 er utarbeidet ved hjelp av litteratur, dokumentanalyse og intervju av prosjektutviklere i Oslo, Bergen og Trondheim kommune, samt en spesial rådgiver som har hatt ansvar for Utdanningsdirektoratet sine sider om fysisk læringsmiljø. Figuren viser de viktigste bygningstekniske parametrene som må tas i betraktning for å tilrettelegge for tilpasningsdyktighet i skolebygg.

Parametere av betydning for installasjonsplass og utstyr	Parametere av betydning for arealdisponering og tilgjengelighet	Parametere av betydning for utvidelsesmuligheter
Tekniske mellometasjer	Mulighet for frie flater (spennvidder)	Tomteforhold (mulighet for tilbygg)
Netto etasjehøyde	Bredde kommunikasjonsveier	Lastkapasitet bæresystem (mulighet for påbygg)
Vertikale sjakter/ installasjonsplass	Innervegger (tunge/ lette konstruksjoner)	
Mulighet for hulltaking i dekke	Bygningsbredde	
Lastkapasitet dekke	Arealmengde pr etasje	
<i>Fleksibilitet og generalitet</i>		<i>Elastisitet</i>

Figur 1: Sentral parametere for tilpasningsdyktighet (Multiconsult, 2007)

14. Hvilke av parametrene i figur 1 er spesielt utfordrende dersom det bygges i massivtre/limtre?
15. Hvilke av parametrene i figur 1 anser du som spesielt viktige i planleggingen av et nytt undervisningsbygg i massivtre/limtre?
16. Hvilke andre parametere, som ikke er vist i figur 1, anser du som spesielt viktig for undervisningsbygg i massivtre/limtre mtp. tilpasningsdyktighet?
17. Hvilke bygningstekniske egenskaper ved et undervisningsbygg i massivtre/limtre skaper størst problemer under en ombygging?

## Avslutning

1. Er det noe jeg burde spørre om, eller er det noe du mener er viktig som jeg ikke har spurt om?
2. Er det greit om jeg kontakter deg i ettertid, om det kommer opp noe jeg har glemt å spørre om?

**Takk for din tid og ditt bidrag!**

**Med vennlig hilsen**

**Irene Fure**



## Vedlegg 6: Sammendrag av konferanseartikkel

Title:

### Adaptability of Norwegian educational buildings in solid wood

Irene Fure, e-mail: irene\_fure@hotmail.com

Marit Støre-Valen, e-mail: marit.valen@ntnu.no

Dep. of civil and environmental engineering, Faculty of Engineering Science, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Norway

### Abstract

**Problem statement:** In the last decades in Norway, many new school buildings are constructed. Due to a the sustainability perspepective and better indoor climate there is an increasing trend to built solid wood schools. Some of the public counties uses a requirement document as a base for their decision making according to school buildings.

**Purpose of Study:** This study maps the owner's motivation to build new school buildings in solid wood, as well as looking at what is the most important building technical parameters to facilitate adaptability with the purpose of searching for *which circumstances is solid wood a good solution for school buildings in regards of adaptability?*

**Methods:** The parameters that affects he adaptability are mapped by a litterature review, semi-structured interviews and a document study. Furthermore, challenges and possibilites of the load bearing system in solid wood of five case projects of Norwegian municipalities and counties are mapped.

**Findings and Results:** This study shows that the following parameters are important for the adaptability of educational buildings.

Possibility for technical installations and equipment	Possibilities for space and availability	Possibilities for expansion
Ceiling height	Span	Site conditions
Vertical shafts	Interior walls and columns	
Space for technical installations above ceiling	Building width	
	Area per pupil	
<b>Flexibility and generality</b>		<b>Elasticity</b>

The study revealed that the main challenge of using solid wood in an adaptable school building is tied to the limited span of the floor slabs. Compared to steel and concrete, solid wood elements, are easier to make holes with less dust and noise, which is beneficial when refurbish or change a school that is in use.

**Conclusions and Recommendations:** This study finds that early assessment and cholics have a major impact on the adapatability of the educational buildings. In order to increase the adapatability of school buildings in solid wood, combinations with other materials should be explored in order to address the challenges of solid wood.

Finally, the paper discusses what the most important aspects to consider during planning of new school buildings in solid wood are.

**Keywords:** School building, adaptability, solid wood





