

Ingeniørarkitektur - Tilpassingsevne i berekonstruksjon

Korleis bruke teknisk mellometasje, opne
rom og svære volum for å gjere eit bygg
tilpassingsvennleg

Daniel Standal Digernes

Bygg- og miljøteknikk
Innlevert: juni 2015
Hovedveiledar: Anders Rönnquist, KT

Noregs teknisk-naturvitenskaplege universitet
Institutt for konstruksjonsteknikk

Oppgåveformulering

Ingeniørarkitektur - Tilpassingsevne i berekonstruksjon

Ein studie av smarte beresystem med fokus på arkitektur

"How to use interstitial space, open rooms and huge volumes to make a building adaptable"

Arkitektur er noko som omgir oss uansett kvar vi går. Det er eit visuelt inntrykk som blir tvinga på alle som passerer eller går inn i bygg. Korleis bygget ser ut får derfor ofte stort fokus. Nokre prøver å imponere ved å gjere sitt bygg det største av sitt slag, andre ved imponerande visuelle effektar på inn- og utsida. I tillegg er funksjonelt areal viktig. Ofte er der føringar på utnyttingsgrad og høgderestriksjonar som gjer at ein må få mest mogleg ut av situasjonen. Vidare vil ein lage eit bygg som er tilpassingsvennleg nok til å kunne endrast over tid. Alt dette skal også imøtekome den ofte viktigaste faktoren; pris.

Denne oppgåva er tredelt og vil ta for seg tekniske mellometasjar, opne rom og svære volum. På fleire sjukehus i dag har ein tatt i bruk tekniske mellometasjar med stort hell. Desse vert plassert over bruksetasjar med funksjonar som røntgen, kirurgi og laboratorium. Her har ein mykje teknisk utstyr som ofte må bytast ut før ei ombygging finn stad. Første del av oppgåva ser på korleis ein kan tilpasse konstruksjonen for å legge best mogleg til rette for tekniske installasjonar, samtidig som den tekniske mellometasjen ikkje vert unødig høg.

Andre del av oppgåva diskuterer store opne rom. Korleis kan ein for eksempel fjerne interne søyler for å skape opne rom. Det vil vidare vere naturleg å sjå første og andre del av oppgåva i samanheng. Ved å kombinere store opne rom og tekniske mellometasjar som legg til rette for rask endring av teknisk utstyr, får vi bygg med høg grad av tilpassingsevne.

Siste del i oppgåva omtalar verkeleg store konstruksjonar med svære interne volum. Dette er skal- og membrankonstruksjonar som overgår vanlege bygg i internt volum. Dei er ofte stadion eller flyplassar og er kjenneteikna med store, frie rom. Oppgåva vil diskutere om ein har moglegheit til å bygge svære klimaskal som husar bygg som gjennom levetida til skalet kan bytast ut ved behov.

Oppgåva blir løyst ved å studere eksisterande litteratur og referansebygg. Det blir lagt som grunnlag ved vidare utgreiing av berekonstruksjon. Gode overslagsutrekningar og samanlikningar av ulike konstruksjonsløysningars vil bli tillagt større vekt enn detaljert dimensjonering av ei enkelt løysing. Analyse av referansebygg blir på berekonstruksjon og arkitektoniske intensjonar.

Oppgåva blir i si heilheit skrive for Institutt for konstruksjonsteknikk på NTNU, men utført i samarbeid med Multiconsult sitt Oscar-prosjekt som har nøkkelpersonar gjennom Institutt for bygg, anlegg og transport på NTNU. I tillegg vil arkitektoniske diskusjonar bli tatt med kontaktpersonar på Institutt for byggekunst, historie og teknologi.

Faglærar: Anders Rønnquist, NTNU.

Oppgåva skal leverast til Institutt for konstruksjonsteknikk innan 10. juni 2015.

Forord

Denne oppgåva er siste del av masterutdanning mi på Bygg- og Miljøteknikk ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU) i Trondheim. Masteroppgåva er skriven i samarbeid med Institutt for konstruksjonsteknikk i vårsemesteret 2015. Oppgåva er eit framhald på prosjektoppgåva eg skreiv haustsemesteret 2014 i samarbeid med arkitektstudentar. Prosjektoppgåva gav meg god innsikt i arkitektane sitt fagfelt og la grunnlaget for at eg kunne gjennomføre denne masteroppgåva.

Eg synest det var spennande å få eit innblikk i kva utfordringar som møter arkitektane når dei ynskjer å få realisert prosjekta sine. Ofte vart dei hindra av berekonstruksjonar og krav til tekniske installasjonar, og plassbehovet dette medførte. Det førte meg inn i ein prosess om kva eg som byggingeniørstudent kunne bidra med inn i denne problemstillinga. Angrepsefta var mange, men der var visse delar som var meir interessante enn andre. Rettleiaren min, Anders, gav meg fridom til å få velje tema sjølv, og då valde eg «*Tilpassingsevne i berekonstruksjon*».

Det var tidleg klart for meg at eg ville skrive ei oppgåve om bygg. Om det var bustadar eller kontorbygg var mindre viktig. God arkitektur gjer ein glad og har ein verdi i seg sjølv som ikkje kan talfestast. Det å legge til rette for at arkitektane kan få utfolde seg ser eg derfor på som viktig. Der er så mange aspekt rundt eit bygg som er viktige. Som konstruktør har ein stort sett berekonstruksjonen som fokus og tenker ikkje alltid så mykje på totalbildet. Det å få studere dette nærmare meiner eg gjer meg betre rusta som konstruktør. Kunnskapen eg har opparbeida meg kan brukast til å få til gode samarbeid og betre prosjekt.

Målet med oppgåva er å belyse diskuterte tema og gjere leseren merksam på moglegheitene desse gir. Teknisk mellometasje og svære volum er mindre utbreidd i dag og kanskje er ikkje leser klar over at desse finst i det heile. Oppgåva er meint å kunne gi ei større forståing for slike konstruksjonar og forklare for leser kva potensial som ligg i dei. Rapporten kan i seg sjølv ikkje konkludere om valde løysingar er gode, men kan fungere som eit grunnlag for vidare utgreining av omtala tema. Eg håper den vil vekke interesse og iver i leser for å skape noko av det oppgåva viser til.

Oppgåva har vore veldig givande å jobbe med. Den har gitt meg sjølv mykje større forståing for valde tema og det har vore kjekt å få jobbe med ei sjølvvald oppgåve. Det av frustrasjon som har vore gjennom semesteret er relatert til i kva retning ein skal ta oppgåva. Problemstillinga har ikkje definert noko endeleg mål og det har vore vanskeleg å vite kor mykje arbeid ein skal legge i dei forskjellige temaa. Ei av dei største utfordringane er å sette avgrensingar for analysenivå. Kor mange analyser som er nødvendig for dei forskjellige utrekningane og kor breitt ein skal analysere. Utfallet vil bestemme i kor stor grad det er mogleg å konkludere og sjå resultat av analysen.

Det er gjennom heile oppgåva vist til mange referansebygg. Som byggstudent er ein ikkje van til å tenke på slike og sjå kva som er gjort før ein sjølv skal utvikle bygg. Arkitektane bruker dette mykje, og for dei er referansebygg ei viktig inspirasjonskjelde. Dei referansebygga som er valt tatt med er meint å vere veldig relevante for sitt tema. Det er lagt mykje tid i å finne gode bygg og sjølv meiner eg dei representerer godt sitt tema.

Kapittel 1 tar for seg bakgrunnen for rapporten, prosessen og kva som gjer denne oppgåva viktig.

Kapittel 2 diskuterer teori og beresystemet i høgreiste bygg med spesiell fokus på kjernar.

Kapittel 3 har fokus på teknisk mellometasje; korleis denne er bygd opp og kva den kan brukast til.

Kapittel 4 analyserer opne rom. Det er sett på både horisontal og vertikal tilpassingsevne.

Kapittel 5 omtalar svære volum, det vil seie interne bygg som er beskytta av eit stort klimaskal og som legg til rette for god tilpassingsevne i lang tid.

Kapittel 6 ser nærmare på dei interne byggja for å sjå kva som skjer med konstruksjonen om ein endrar klimaklasse. I tillegg blir behovet for tilpassingsevne diskutert.

Kapittel 7 inneholder blant anna diskusjon og oppsummering av oppgåva.

Eg trur det er veldig viktig som byggingeniør å ha forståing og respekt for fagfeltet til arkitektane. Ved å ha fått jobba med denne oppgåva, har eg både fått lære meir om arkitektane sin arbeidsmåte, og eg har fått moglegheita til å diskutere med både arkitektpresidentar og studentar.

Først vil eg takke Anders Rønnquist for moglegheita eg har fått med denne oppgåva. I tillegg til god rettleiing og inspirasjon har han gitt meg relevante input om og forståing av arkitektur sett frå ein konstruktør sin ståstad. Vidare vil eg takke Svein Bjørberg for viktige synspunkt frå næringslivet og relevante problemstillingar. I tillegg har deltakinga i Oscar-prosjektet gitt meg gode haldepunkt gjennom semesteret og viktige innspel frå medstudentar. Til slutt vil eg takke Bendik Manum for gode innspel på referansebygg og diskusjonar rundt problemstillingar.

Framsidebilete er forslag til Nye Istanbul Flyplass utarbeida av Nordic – Office of Architecture (2013).

Daniel Standal Digernes

Daniel Standal Digernes

Trondheim, juni 2015

Samandrag

Denne oppgåva har hatt tilpassingsevne som hovudfokus. Ser vi på endringane på norske sjukehus har desse stege drastisk dei siste åra, og sannsynlegvis er trenden lik for resten av bransjen. Det blir derfor berre viktigare og viktigare med tilpassingsvennlege bygg. Gjennom oppgåva har derfor moglegheit for dette blitt diskutert med fokus på teknisk mellometasje, opne rom og svære volum. Førstnemnte er ei eiga etasje satt av for tekniske installasjoner. Det er ei etasje som gjerne kan lagast lågare enn dei andre i bygget, men som ein likevel kan gå oppreist i. Litteratur viser til ei høgde på mellom 1,8 og 2,3 meter som passande. Desse etasjane er spesielt viktige opp mot rom som treng mykje teknisk utstyr som ofte må bytast ut. Oppgåva viser til sjukehus som spesielt relevant for dette, men kan også vere aktuelt i andre bygg i forbindelse med superetasjar.

Opne rom ser på det interne rom i bygg og kva som skjer om ein omplasserer søyler. Utrekningar viser at det ikkje nødvendigvis vil doble høgda på bjelken om spennet doblast. I tillegg blir vertikal tilpassingsevne diskutert. Her blir det sett på om det kan vere mogleg å legge til rette for vertikal endring gjennom levetida, ikkje berre horisontalt som er vanleg i dag. Dette blir sett på i samanheng med teknisk mellometasje ved bruk av superetasjar. Superetasjar er kraftigare beresystem, gjerne i fagverk, som kan bere meir enn si eiga etasje. Dette er diskutert brukt til å henge opp underliggende etasjar for å skape originale løysingar. Det kan for eksempel vere for å skape ei søylefri etasje for kvar superetasje.

Siste tema om svære volum er ein delvis nytenkande idé om å skape svære interne volum som legg til rette for endring av interne bygg under eit klimaskal. Her finst det få referansebygg å vise til bortsett frå flyplassterminalar som gjer dette i noko grad. Tanken er å bygge eit stort klimaskal som kan stå veldig lenge. Inne i dette settast det opp lettare bygg som kan endrast ved behov; kanskje allereie etter 10-20 år. Det at dei interne bygg blir beskytta frå naturlaster gjer at dei kan byggast med slankare dimensjonar på bjelkar og søyler. Det fører til mindre materialbruk og nedbetalingstida til bygga går raskare. Det opnar for at bygga kan rivast tidlegare enn tilsvarande bygg ute, og nye som passar bruken betre kan settast opp. Bygga kan også vere utført som modular som kan demonterast, noko som vil vere betre for miljøet.

Oppgåva er løyst med stort fokus på litteraturstudie og referansebygg. Mykje tid har gått med på å prøve å finne ut kva som har blitt gjort på aktuelle tema hittil, noko som har vist seg å vere mindre. Dei referansebyggja som har blitt presentert blir gjerne analysert og rekna på for å sjå på relevante problemstillingar. Det er gjennom rapporten forsøkt å ha mykje diskusjon for å knytte alt opp mot den raude tråden; tilpassingsevne.

Abstract

This thesis has adaptability as its main focus. If we look at changes in Norwegian hospitals over the last years changes has increased drastically, and probably is the trend similar for the rest of the industry. It therefore becomes only more and more important with buildings that are adaptable. It is therefore through this thesis been discussed how this can be done with use of interstitial space, open rooms and huge volumes. First chronicled is a separated fixed floor set aside for technical installations. This is a floor that can be made lower than the rest in the building, but still will be walkable. Literature refers to a height between 1.8 and 2.3 meters to be adequate. These floors are particularly important in connection with rooms that need a lot of technical equipment and who would replace these regularly often. The assignment refers to hospitals as particularly relevant to this, but may also be applicable in other buildings in combination with mega floors.

Open rooms looks at internal spaces and what happens if one repositions columns. Computations show that the height of the beam not necessarily is double even if the span is doubled. In addition vertical adaptability is being discussed. It will be examined whether it may be possible to facilitate vertical change throughout the lifetime, not only horizontally as most usual today. This is seen in context of interstitial space and mega floors. Mega floors are a stronger support system, often in trusses, which can carry more than their own floor. These are discussed used to hang up the underlying floors to create original solutions. It can for instance be used to create a pillar free floor for each mega floor.

Last topic on huge volumes is a partially innovative idea of creating huge internal volumes which help promote changes of internal buildings under a climate shell. On this topic it is few reference buildings to show to apart from airport terminals which do this in some degree. The idea is to build a large climate shell which can last very long. Inside this lighter buildings can be built which can be changed when needed; perhaps already after 10-20 years. Since the internal building is being protected from environmental loads the building components can be made thinner. This leads to less material use and repayment time on the buildings are faster. It opens for earlier demolition than equivalent buildings outside, and new, more suitable, can be set up. The internal buildings can also be designed as modules which can be demountable, something that will be good for the environment.

This thesis is solved with a strong focus on literature and study on reference buildings. Much time has been used trying to find what has been done on the topics of concerns so far, something that has proven to be less. The reference buildings which are presented are to some degree been analyzed and calculated on to dig into relevant issues. In addition a lot of discussion is tried to be put in throughout the report to tie everything up against the main theme; adaptability.

Innhaldsliste

Oppgåveformulering.....	i
Forord.....	iii
Samandrag.....	v
Abstract.....	vii
Figurliste.....	xiii
Prosjektoppgåva	2
Definisjonar	3
Avgrensingar i oppgåva.....	3
Prosessen	4
Kvifor samarbeid mellom arkitekt og ingeniør.....	5
Auditoriet i Utrecht	6
Buckminster Fuller og Toyo Ito	7
Teori	10
Bjelke.....	10
Søyle.....	11
Stavar og fagverk	12
Material.....	13
Stål.....	13
Beton.....	14
Tre	15
Lastareal	15
Beresystem i høgreiste bygg	16
Kjerne	16
Senterkjerne	17
Delt kjerne	17
The Lloyds Building.....	18
Endekjerne.....	20
The Leadenhall Building	20
Teknisk mellometasje	26
Utforming av teknisk mellometasje	30
Opphengde etasjar i TME	31
Opne etasjar	33
3for2.....	34

Teknisk mellometasje og tårn.....	36
Opne rom	38
Analyse av interne spenn	40
Sendai Mediatheque	44
Taichung Metropolitan Opera	46
Pompidou-senteret	47
Vertikal tilpassingsevne.....	48
Senterkjerne	49
Delt kjerne	50
Endekjerne.....	51
Fagverkdimensjon.....	52
Svære volum.....	54
Skal-konsept	54
Nye Istanbul Flyplass	55
Beijing Opera House.....	59
Membran-konsept	61
München OL-park	61
Googleplex.....	63
Norske bygg.....	66
Domkyrkjruinane på Hamar.....	66
Gardermoen.....	67
Interne bygg	70
Behov for tilpassingsevne	72
Endeleg produkt	73
Diskusjon	76
Vurdering av prosessen.....	78
Konklusjon.....	79
Vidare arbeid	80
Kjelder	82
Vedlegg.....	85
1 – Betongdekket over auditoriet i Utrecht	85
2 – E-post fra Per W. Torgersen om TME 12.mars 2015	87
3 – Lastrekning av modell for samanlikning av strekkstag og søyle	88
4 – Bjelkespenn for tre	90

5 – Lastareal for tre	92
6 – Bjelkespenn for stål	94
7 – Lastareal for stål	95
8 – Betongsøyler i Sendai Mediatheque	97
9 – Fagverk-dimensjon	100
10 – Knekking av søyler på Nye Istanbul Flyplass	102
11 – Bilde av Google sitt nye hovedkvarter.....	104
12 – Samanlikning klimaklasse	106
13 – Korrespondanselogg	108

Figurliste

Figur 1: Mastermøte	4
Figur 2: Oscar-presentasjon	4
Figur 3: Sydney Opera House (Enochlau, 2006)	5
Figur 4: Educatorium, Universitet i Utrecht (Wong, 2012)	5
Figur 5: Auditorium i Utrecht (Utrecht, 2010)	6
Figur 6: Fuller sin paviljong (Arttattler, 2011)	7
Figur 7: Fuller sin kuppel over Manhatten (Arttattler, 2008).....	7
Figur 8: Sendai Mediatheque (McKittrick, 2010)	8
Figur 9: <i>Venstre</i> : Fritt opplagt bjelke med jamt fordelt last og bjelkesnitt. <i>Høgre</i> : Skjær- og momentdiagram (Irgens, 2005).....	10
Figur 10: Snittkrefter for kontinuerlege bjelkar (Institutt for konstruksjonsteknikk, 2003)	11
Figur 11: Kritisk last (Eulerlast) som funksjon av randbetingelsar (P. K. Larsen, 2008)	12
Figur 12: Eksempel på fagverk (P. K. Larsen, 2008)	12
Figur 13: Eksempel på spenning-tøyningskurve for stål (P. K. Larsen, 2008).....	13
Figur 14: Spenning-tøyningskurve for betong (P. K. Larsen, 2008)	14
Figur 15: Strekk-trykk-relasjon i tre (Buchanan, 2013)	15
Figur 16: Kjerneoversikt (Finocchiaro, 2014).....	16
Figur 17: Lloyd's building (Planetden, 2014)	18
Figur 18: Tekniske sjakter (Wallpaper, 2007)	18
Figur 19: Energisystem (Kasia Badura & et.al., 2014)	18
Figur 20: Lloyd's building innvendig (Lloyd's, 2011)	19
Figur 21: The Leadenhall Building (Security, 2014)	20
Figur 22: Planløysing (Inman, Almeida, Colas, & Tveit, 2014)	20
Figur 23: Søyleskiver (Inman et al., 2014)	21
Figur 24: Søylene (Building, udatert)	22
Figur 25: <i>Venstre</i> : Knutepunkt. <i>Midten</i> : Avstivingssystem. <i>Høgre</i> : Konstruksjonsoppbygging (Building, udatert)	23
Figur 26: Teknisk mellometasje – Rikshospitalet (Kallmyr, 2004)	27
Figur 27: Talet på endringar per tiår for nokre norske sjukehus (Valen & Larssen, 2006)	28
Figur 28: Teknisk etasje med auditorium over	29
Figur 29: Gruppe 3 sitt bygg	31
Figur 30: Modell som viser utgangspunkt for samanlikning av strekkstag og søyle.....	32
Figur 31: 3for2-konseptet (Laboratory, 2014)	34
Figur 32: Prinsipielt snitt VVS tekniske rom (ANS, 2005)	35
Figur 33: Modell av tekniske installasjoner på San Antonio Military Medical (Peck, 2010)	36
Figur 34: Oversikt over tekniske rom (Haugen & Mysen, 2001)	36
Figur 35: Permanenten (Fosse, 2013)	38
Figur 36: Ahus (Bygg.no, 2008).....	39
Figur 37: Bjelkespenn for tre	40
Figur 38: Lastareal for tre	41
Figur 39: Bjelkespenn for stål	42
Figur 40: Lastareal for stål	43
Figur 41: Sendai Mediatheque (Seifert, 2012)	44
Figur 42: Konstruksjon Sendai Mediatheque (McKittrick, 2010)	45

Figur 43: Taichung Metropolitan Opera (Designboom, 2010)	46
Figur 44: Modell av operaen (Designboom, 2010)	46
Figur 45: Konstruksjon (Designboom, 2010)	46
Figur 46: Pompidou-senteret (Chéron, 2014)	47
Figur 47: Pompidou-senteret innvendig (Traub, 2007).....	47
Figur 48: Fagverk med senterkjerne	49
Figur 49: Plan med og utan fagverk for delt kjerne	50
Figur 50: Fagverk med endekjerne	51
Figur 51: Fagverk med delt endekjerne	51
Figur 52: Modell Los Angeles County Museum of Art (OMA, udatert).....	54
Figur 53: Shenzhen Bao'an International Airport (Stathaki, 2013).....	54
Figur 54: Baku's Heydar Aliyev International Airport (Fort, 2014)	54
Figur 55: Nye Istanbul flyplass innvendig (Architecture, 2013).....	55
Figur 56: Nye Istanbul flyplass utvendig (Architecture, 2013)	56
Figur 57: Snitt av Nye Istanbul flyplass (Nordic & Grimshaw, 2015)	56
Figur 58: Modular (Nordic & Grimshaw, 2015)	57
Figur 59: Moduloppsett (Nordic & Grimshaw, 2015)	57
Figur 60: Oppbygging av taket (Nordic & Grimshaw, 2015).....	57
Figur 61: Beijing Opera House (McKenzie, 2013)	59
Figur 62: Beijing Opera House (McKenzie, 2013)	59
Figur 63: Singapore Sports Hub (Wu, 2014)	60
Figur 64: Cowboys Stadium (Viracon)	60
Figur 65: Lucas Oil Stadium(List, 2014)	60
Figur 66: München OL-park (Geolocation, 2011)	61
Figur 67: Nye Hovudkvarteret til Google (Google, 2015b).....	62
Figur 68: Takkonstruksjon (BIG et al., 2015)	63
Figur 69: Detalj søyle {BIG, 2015 #44}.....	63
Figur 70: Detalj tak (BIG et al., 2015)	63
Figur 71: Oppbygging golv (BIG et al., 2015)	64
Figur 72: Kraner (BIG, Studio, Architecture, & Sera, 2015)	64
Figur 73: Domkyrkjeruinane på Hamar med glasoverbygg (Frogner, 2005)	66
Figur 74: Oslo flyplassterminal (Longdistancer, 2010)	67

I

Prosjektoppgåva

Hausten 2014 skreiv eg ei prosjektoppgåve om same tema; Ingeniørarkitektur, som denne masteroppgåva bygger vidare på. Gjennom eit semester tok eg del i eit fag på Instituttet for byggekunst, historie og teknologi, med tittelen AAR4616 – Integrated Energy Design. Her følgde eg fire grupper med arkitektstudentar. Dei hadde i hovudsak to rapportar å levere. I den første analyserte vi høgreiste bygg i London for å sjå på utfordringar, moglegheiter og utføringar av kjente byggverk. Dei to bygga som skilde seg ut som dei beste eksempela var The Leadenhall Building og «The Gherkin». Dette brukte gruppene inn i neste oppgåve som var å projektere eit fiktivt høgreist bygg på Gløshaugen.

Målet med samarbeidet var å utforske skjeringspunktet mellom fagtyngdene våre og kome opp med gode løysingar som utnyttar dette, og som truleg ikkje kunne blitt til om vi ikkje starta samarbeidet tidleg. Arbeidet viser at dette skjedde, men at det også var eit tidsproblem som gjor at potensialet ikkje vart utnytta fullt ut. Uansett har det vore eit veldig positivt samarbeid som viser at det ligg ei stor moglegheit i å starte prosjektsamarbeidet tidleg.

Eg har gjennom prosjektoppgåva fått lære mykje om tankesettet til arkitektane og deira arbeidsform. Arkitektane har fått konstruktive tilbakemeldingar frå meg og har ved fleire anledningar utrykt sin takk. Det har ført til at eg i dette semesteret har blitt kontakta for å diskutere og gi tilbakemelding på analyse av konstruksjon. Lene Dybwad skriv masteren sin samtidig som meg og ser nyttegrada av input. Det har eg prøvd å imøtekome både for hennar skuld, men også for eigen inspirasjon og læring.

Prosjektoppgåva gav meg inspirasjon til å fortsette på same tema. Det var ikkje klart då eg leverte den kva eg skulle ta vidare, men det opne rom stod sentralt. Viktigheita av kjennskap til referansebygg var også sentralt. Det kunne brukast vidare for analyser av eksisterande bygg for å sjå potensiale og moglegheiter. I tillegg fekk eg mot slutten av semesteret kjennskap til Multiconsult sitt Oscar-prosjekt. Sjå faktaboks til høgre. Eg kom i diskusjon med Svein Bjørberg om å sjå på tekniske mellometasjar. Dei var også interessert i idéen min om opne rom og vi diskuterte eit mogleg samarbeid. Etter kvart som oppgåva utforma seg gjennom diskusjon med Anders, vart det klart at svære klimaskal med store interne volum var av interesse. Alt dette har ein fellesfaktor som er tilpassingsevne. Dette er den raude tråden gjennom masteroppgåva og vil ligge til grunn for dei drøftingane som blir gjort.

Oscar-prosjektet:

Oscar er eit prosjektsamarbeid mellom mange norske bedrifter og utdanningsinstitusjonar som har som fokus å sjå på moglegheita for meir berekraftige bygg. «Målet med Oscar er å utvikle kunnskap, metoder og analyseverktøy som muliggjør optimalisering av utforminga av bygg, slik at bygget kan bidra til god verdiskapning for eiere og brukere gjennom dets levetid.»

(Multiconsult, udatert)

Definisjonar

- Superetasjar: Med faste mellomrom, gjerne kvar 4-5. etasje set ein inn ein berekonstruksjon som er mykje sterkare enn elles i bygget. Dette for å kunne ha større valfridom i planløysingar og skape opne areal eller for å kunne ta opp store asymmetriske laster.
- Diagrid: Eit slags fagverk eller rammeverk i stål som ligg i fasaden på bygget. Det er sjølvberande og kan i tillegg ta store vertikale laster. Oftast materialsparande og gir spenstig arkitektur.
- Atrium: Opne areal over fleire etasjar. Går helst loddrett oppover, men kan snurre rundt bygget.
- Kjernen: Den delen av bygget som ofte tar mesteparten av vertikal last. Inneheld også tekniske føringar, trapper og heiser. Utførast nesten alltid i betong. Kan også lagast i stål.
- TME: Teknisk mellometasje. Ei eiga etasje satt av for tekniske installasjonar knytt opp mot ei bruksetasje med stort behov for dette.
- TT: Teknisk tårn. Fleire rom som er plassert overfor kvarandre i eit bygg og som inneheld det tekniske utstyret til sine respektive etasjar.
- Tilpassingsevne beskriv i kor stor grad ein kan gjer endringar i eit bygg og blir inndelt i tre kategoriar (Arge & Landstad, 2002):
 - Generalitet: Evne til å endre bruksfunksjon utan å gjøre bygningsmessige eller tekniske tiltak. (f.eks. endre eit rom frå kontor til møterom).
 - Fleksibilitet: Fridom til å endre romfunksjon. (f.eks. endre frå cellekontor til ope landskap).
 - Elastisitet: Moglegheit til å auke totalt bruksareal eller dele opp eksisterande areal . (f.eks. legge til ekstra etasje eller dele opp ei etasje for fleire leigetakrar).

Avgrensingar i oppgåva

I utgangspunktet er denne oppgåva svært brei. Alle temaa som er omtala kunne for seg sjølv vore ei masteroppgåve. Det har gjort at ikkje alt har blitt sett på like grundig og der er fleire aspekt som burde vore tatt med, til dømes økonomi er eit felt som har ei veldig sentral rolle i denne oppgåva, men som ikkje har blitt drøfta i stor grad. Grunnen til at oppgåva likevel har blitt som ho er, er fordi alle felta er veldig interessante, og det er spennande å sjå på desse i lag. Idéane er konseptuelle og meint for å skape iver blant leserane som eit grunnlag for vidare arbeid.

I seg sjølv er ei masteroppgåve ikkje veldig stor, og ein kunne mest sannsynleg ikkje konkludert på noko av dei gitte interessefelta om dei hadde blitt studert aleine, i tilfelle dei skulle blitt brukt på eit reelt prosjekt. Det har gitt ei moglegheit til å studere alle i lag og forhåpentlegvis skape noko som ikkje kunne blitt kome på utan denne kombinasjonen.

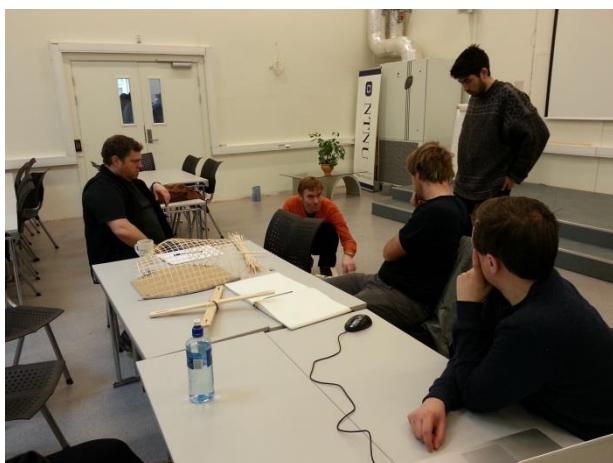
Vidare har det i liten grad blitt undersøkt kva etterspørsel dei gitte eksempla har i marknaden. Alt er basert på tolkingar som Anders, Bendik og eg har hatt, i tillegg til relevans opp mot Oscar-prosjektet.

Prosesssen

Oppgåva vart henta ut og starta på 14. januar 2015. Det gjekk nokre rundar med diskusjon mellom Anders og meg før vi landa på ei problemstilling som kunne passe. I løpet av denne prosessen hadde eg fleire samtalar med Svein Bjørberg for å finne ut kva som kunne vere relevant opp mot Oscar-prosjektet. Vi var innom fleire interessante tema, som kva det vil koste å lage bygg litt sterkare for å kunne seinare bygge på ei etasje eller to på toppen av det eksisterande bygget, men enda på teknisk mellometasje og den generelle interessa for tilpassingsdyktige bygg. Tanken var at eg kan få kople meg opp mot prosjektet for ekstra rettleiing og inspirasjon, men at eg har hovudtilknyting mot konstruksjonsteknikk og Anders som min hovudrettleiar.

I startfasa før tema vart bestemt hadde eg i tillegg møte med Bendik Manum for å sjå på kva interessefelt som var mogleg å utforske. Vi var innom tidlegfaseutvikling av konstruksjonar og då spesielt bruver. Dette for å studere kva som gjer at arkitektar og ingeniørar går for dei konsepta dei gjer, og om der er nokre prinsipp som burde bli gitt større merksemeld. Eg likte godt mange av idéane han kom med, men det var likevel bygg som vekte mi interesse. Då dette vart bestemt, hjelpte Bendik meg med å finne gode referansebygg og vidare inspirasjon.

I tillegg til meg er der fire andre sivilingeniørstudentar som skriv oppgåve om skalkonstruksjonar på same oppgåve som meg; Ingeniørarkitektur. Dette er delvis gjort i samarbeid med arkitektstudentar for å kunne kombinere fagkunnskapar og lage den beste løysinga på store skalkonstruksjonar i tre. Det har ført til fleire møter som eg har tatt del i for å hente idéar, få tilbakemeldingar og høyre kva dei andre studentane gjer på. Eit bilde frå eit slikt møte er å sjå på Figur 1. Her studerer vi korleis ein kan lage knutepunkta til eit døme på skalkonstruksjonen arkitektstudentane har kome fram til.



Figur 1: Mastermøte



Figur 2: Oscar-presentasjon

Gjennom Oscar-prosjekt har eg fått tatt del i to presentasjonar og fleire møter. Der har medstudentar som også skriv oppgåve for Oscar tatt del i tillegg til ein doktorstipendiat, Amin Haddadi, og personar tilknytta prosjektet frå blant anna Multiconsult og Institutt for Bygg, Anlegg og Transport på NTNU. Eit bilde frå presentasjonen på hovudkontoret til Multiconsult på Skøyen kan sjåast på Figur 2. Dette skjedde tidleg i mai og kravde ein ekstra innsats av meg i forkant. Det har hjelpt på for progresjonen i skrivinga då eg har fått fleire haldepunkt å forhalde meg til som har motivert for resultat i oppgåva. I tillegg har eg hatt eit større nettverk av folk rundt meg som kan hjelpe og komme med innspel.

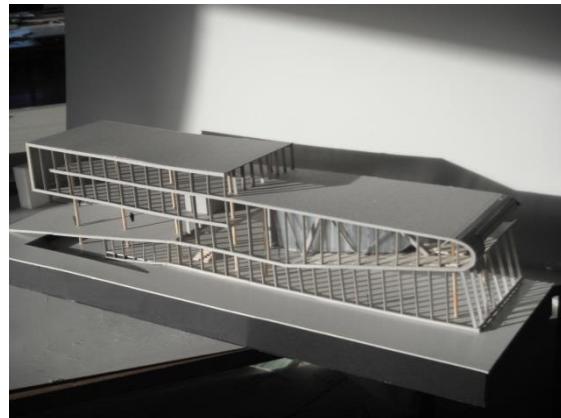
Kvifor samarbeid mellom arkitekt og ingeniør

Denne oppgåva heiter «Ingeniørarkitektur» og i det ligg der eit underforstått tema. Byggingeniøren skal møte arkitektur, men det er litt tvetydig om han skal lage «ingeniørarkitektur» eller om det er eit felt der ingeniør samarbeider med arkitekt for felles mål. Førstnemnte sjåast ofte i samanheng med enkel arkitektur, gjerne firkanta betongklossar, og blir omtala i forbifarta som «Sjå der, det er slik typisk ingeniørarkitektur», oftast negativt ladd. Byggingeniøren har trengt eit bygg som berre skal fungere som klimaskal og har sett opp den lettaste og billigaste sorten.

Den andre tydinga er den som er rett for denne oppgåva. Som byggingeniør skal ein ha tilnærming mot arkitektane sitt fagfelt og forsøke å finne eit skjeringspunkt der fagfelta kan styrke kvarandre. Mange meiner ein må få eit tettare samarbeid mellom desse to fagfelta for å skape betre prosjekt. Eksempel på kvifor dette er positivt er ytterpunktet Sydney Operahus og Universitet i Utrecht. Sjå Figur 3 og Figur 4. Førstnemnte er blant mange sett på som eit av verdas vakraste bygg, men det som færre veit er at arkitekten, Jørn Utzon, stakk frå prosjektet før det vart ferdig og har aldri kome tilbake for å sjå det ferdige resultatet.



Figur 3: Sydney Opera House (Enochlau, 2006)



Figur 4: Educatorium, Universitet i Utrecht (Wong, 2012)

Bakgrunnen for denne hendinga var at arkitekten utarbeida eit ferdig prosjekt før byggingeniøren, Ove Arup, fekk komme med sine innspel. Dette førte til ein veldig vanskeleg prosess der mange endringar måtte gjerast for å få konstruksjonen til å stå. Blant desse var det nødvendig å auke betonghøgda på takkonstruksjonen betrakteleg, noko arkitekten likte svært dårlig. Dette og fleire tilfelle gjorde at han til slutt trekte seg frå heile prosjektet. Det vart likevel gjennomført, men ikkje slik han ønska. Resultatet er eit vakkert bygg som mest sannsynleg aldri ville ha eksistert i dag om ikke arkitekten hadde gjort som han gjorde. Hadde han konsultert med ingeniørar på eit tidlegare stadium ville utfallet blitt annleis, og ein ville samtidig fått ein ryddigare og enklare prosess.

Auditoriet i Utrecht

Det andre eksempelet er eit der arkitekt og ingeniør har hatt eit tett samarbeid frå starten av, som gjorde at dei klarte å kome på ein revolusjonerande ny konstruksjon. Arkitekten ville lage eit bygg med betong som folda seg gjennom bygget. Sjå Figur 4. Dette skulle vere synleg frå utsida og det var derfor viktig at høgda på betongen var lik overalt. I seg sjølv var ikkje det eit problem. Søyler kunne plasserast slik at spenna ikkje vart for store og arkitekten fekk det som han ville. Utfordringa kom då ein skulle plassere eit auditorium i bygget. Her kan ein ikkje ha søyler like ofte som elles då dei både gjer rommet meir upraktisk og hindrar utsyn. Spennet måtte aukast. Det resulterte i større momentlast og det var ikkje tilstrekkeleg å legge i meir armering i betongdekket. Ingeniør og arkitekt hadde fleire rundar på denne problemstillinga der dei diskuterte alternativ og moglege løysingar. Det som skulle vere det avgjerande steget var då arkitekten spurte ingeniøren kvifor armeringa måtte ligge i betongen. Kunne ikkje denne vere utanfor? Det fekk ingeniøren til å tenke og dei kom med ei løysing som gjekk ut på å trekke armeringa utanfor betongen der momentet vart størst. Sjå Figur 5. Dermed beheldt ein betonghøgda og fekk tatt opp dei ekstra kreftene på ein utradisjonell måte. Hadde ikkje arkitekt og ingeniør vore så samarbeidsvillige, ville denne løysinga mest sannsynleg aldri eksistert. Fakta frå desse eksempla er henta frå boka «Conceptual Structural Design» av Larsen og Tyas (2003).



Figur 5: Auditorium i Utrecht (Utrecht, 2010)

Det 20 cm tjukke betongdekket klarer med denne metoden å spenne 21 meter (OMA, 1997). Ei enkel utrekning, sjå vedlegg 1, viser at det ved normal byggemetode ikkje hadde vore mogleg. Ein hadde fått eit alt for stort armeringsbehov på grunn av for liten intern vektarm, z. Det er denne ingeniøren har auka betydeleg ved å plassere armeringa utanfor betongen. Utrekninga viser at ein får redusert armeringsbehovet med 95% ved å auke z til 1 meter, men svaret treng ikkje vere så eintydig. For i eit slikt tilfelle har ein ikkje samvirke mellom armeringa og betongen. Ein manglar for eksempel heft, noko som er ein del av styrken. Det vil føre til eit litt auka armeringsbehov enn om armeringa hadde vore omkransa av betong. Likevel er det den interne vektarma som er avgjerande for at denne løysinga fungerer. Ein annan ting som har vore mogleg med denne typen løysing er å auke z der ein treng det. Ved å studere Figur 5 vil ein sjå at stålet er kurva. Det følgjer momentkurva til dekket og får størst styrke midt i spennet. Ein har altså hatt moglegheit til å optimalisere stålbruken og ikkje la denne ta for mykje plass i rommet.

Alternativt kan det samanliknast opp mot standard betonelement. Ved eit spenn på 21 meter og vanleg nyttelast på 3 kN/m^2 ville det gitt ei betonghøgde på 700 mm for DT-element (Alexander & Vinje, 2010). Det er altså ei auke på 500mm!

Buckminster Fuller og Toyo Ito

Vidare må det nemnast at det ikkje alltid er slik at ein treng å ha ein arkitekt og ein byggingeniør for å få dei beste prosjekta. Eigentleg er jo Operahuset i Sydney eit eksempel på det, men det som er poenget med denne utsegna er at ingeniøren og arkitekten kan vere éin og same person. Mange store arkitektar har blitt kjende fordi dei har hatt ei ekstra forståing for meir enn sitt eige fagfelt. Ved respekt og innsikt i tilknytt fagfelt vil ein forstå mykje betre korleis alt heng saman. Eit godt design kan for eksempel også vere den konstruktivt beste løysinga. Sjå berre til naturen. Den sløsar ikkje med material og kan lære oss mykje om skjønnheit og konstruksjonseffektivitet.

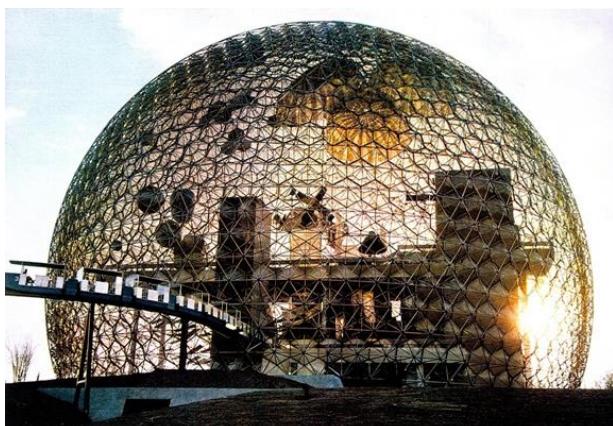
Mykje av jobben til ein ingeniør er å lage konstruksjonen med ei gitt parameterramme. Det skal stå så og så mange år ved eit gitt lasttilfelle, i det og det klimaet. I tillegg til dette skal ein ingeniør også kunne føresjå det uventa. Ein veit aldri heilt kva som skjer i framtida. Dette kan både vere snakk om endra lastmønster med auka klimapåkjenning eller endra bruksbehov i bygget. Det kan gjere at ei søyle er så i vegen at den må fjernast. Då er det bra om designet av bygget har den tilpassingsevnea. Om arkitekten også har denne forståinga hjelper det veldig på samarbeidsviljen. Ofte er det akkurat i dette tilfelle gjerne snudd på hovudet, at det er ingeniøren som vil ha inn ei ekstra søyle, men poenget er ikkje så spesifikt. Har ein forståing og respekt for kvarandre sitt fagfelt legg ein til rette for eit godt prosjekt.

To personar som var og er dyktige på dette er Buckminster Fuller og Toyo Ito. Begge er arkitektar og har utvikla mange spennande prosjekt. Fuller forska på mykje, men det han kanskje er mest kjend for er kuplane sine, eller «Geodesic structure» (O. P. Larsen & Tyas, 2003). Sjå Figur 6 og Figur 7. Dette er klimaskal som er konstruert for å vere lette og med stort internt volum. Dei skal skilje inne og ute for å kunne oppnå ønska kvalitetar. For eksempel er kuppelen over Manhattan tenkt for å kunne regulere veret og få redusert luftforureining. Domen er konstruert slik at ein kan sjå gjennom den og oppbygginga er sitert i boksa til høgre. Desse prosjekta kunne aldri blitt påfunne om ikkje Fuller hadde ein indre driv for fagfelt utanom arkitektutdanning hans. Han har vore til inspirasjon for mange generasjonar og sjølv om ikkje så mange av prosjekta hans har sett dagens lys, har dei vore med på å gi liv til andre.

Manhattan Dome:

"Its skin would consist of wire-reinforced, one-way vision, shatterproof glass, mist-plated with aluminium to cut sun glare while admitting light. From the outside it would look like a great glittering hemispheric mirror, while from the inside its structural elements would be as invisible as the wires of a screened porch, and it would appear as a translucent film through which the sky, clouds and stars would appear."

(Hatch, 1974, p. 230)



Figur 6: Fuller sin paviljong (Aratttler, 2011)



Figur 7: Fuller sin kuppel over Manhatten (Aratttler, 2008)



Figur 8: Sendai Mediatheque (McKittrick, 2010)

I den grad ein kan sei at Buckminster Fuller har bidrøge med revolusjonerande tankar, har i alle fall Toyo Ito på si side dratt nytenkande arkitektur i vår tid til nye høgder. Ito er svært flink til å tenke «utanfor boksa» og har vore med å designe mange bygg som ein ikkje finn maken til. Sendai Mediatheque, sjå Figur 8, er eit av desse. Dette er eit bibliotek der alt av infrastruktur er trekt i spesialdesigna rør gjennom bygget, som også tar vertikal last. Det skaper unike rom og opne planløysingar. Han har i tillegg presentert eit forslag for operaen i Taichung som er eit veldig utradisjonelt bygg med rom som er heilt låste. Det kan verke som om heile bygget er 3D-printa, noko det i realitetten ikkje er. Begge desse bygga omtalast seinare i kapittelet om Opne rom.

II

Teori

I denne oppgåva er det spesielt fokus på bjelkar og søyler i stål, betong og tre. Dette er viktige byggematerialar over heile verda og har veldig forskjellige eigenskapar. For å få tak i dei viktigaste forskjellane, blir det gitt ei innføring av dei mest relevante sidene ved desse for denne oppgåva. Mesteparten av dette er veldig kjent for konstruksjonsingenørar.

Bjelke

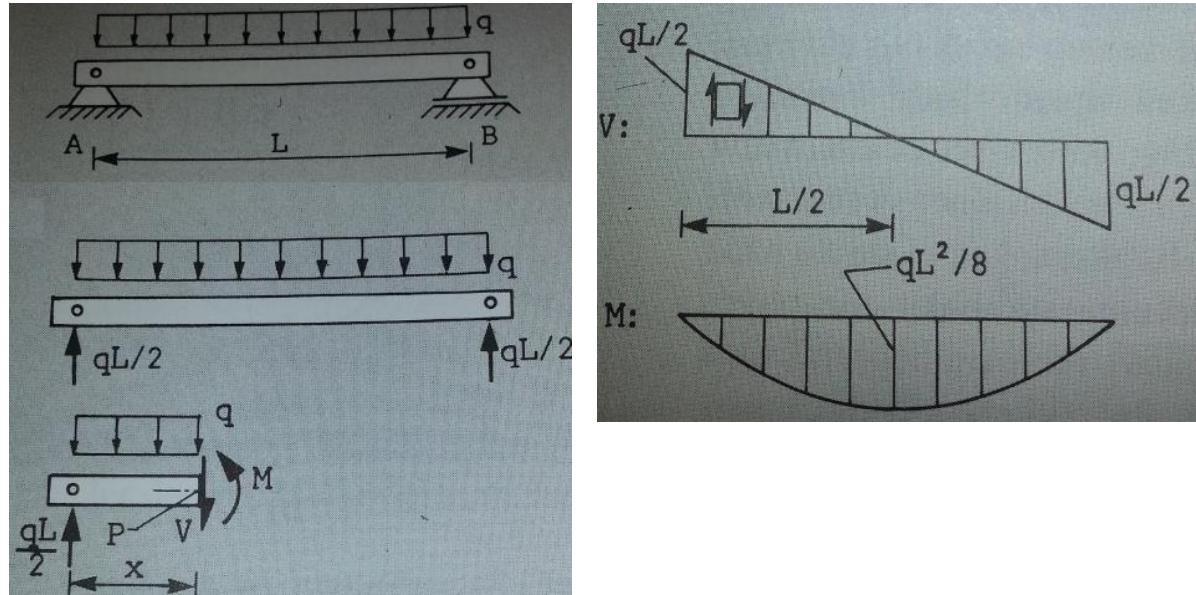
Bjelken er kanskje ein av dei aller mest brukte konstruksjonselementa vi har. Den tar opp skjær- og momentkrefter og fører desse over til søylene. Den mest brukte metoden å sjå på last i bygg er jamt fordelt. Sjølv om situasjonen gjerne er mange mindre punktlaster, vil dei kunne slåast saman og sjåast på som jamt fordelte. Alle lastsituasjonar i Norsk Standard er også gitt som slike laster. Derfor blir det naturleg å gi ei innføring i snittkreftene som opptrer i ein bjelke ved denne situasjonen.

Eksempelet som blir brukt er ein fritt opplagt bjelke med lasta q over lengda L . Sjå Figur 9. Ved å snitte opp bjelken vil ein finne snittkreftene som funksjon av snittlengda x . På grunn av at ein skal ha likevekt i eit kvart system, kan ein sette at kreftene rundt punkt P skal bli null. Ein får dermed:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow V - \frac{qL}{2} + qx = 0 \Rightarrow V(x) = \frac{qL}{2} \left[1 - \frac{2x}{L} \right]$$

$$\sum M_P = 0 \Rightarrow M - \frac{qL}{2}x + \frac{qx^2}{2} = 0 \Rightarrow M(x) = \frac{qL^2}{2} \left[\frac{x}{L} - \left(\frac{x}{L} \right)^2 \right]$$

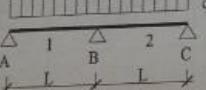
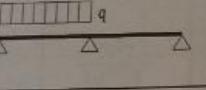
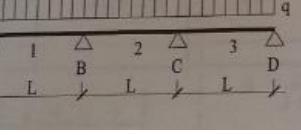
Dette gir at ein får største opptreande skjærkraft ved opplegga og største moment på feltmidten. Desse blir høvesvis $qL/2$ og $qL^2/8$.



Figur 9: Venstre: Fritt opplagt bjelke med jamt fordelt last og bjelkesnitt. Høgre: Skjær- og momentdiagram (Irgens, 2005).

Spesielt maksimalt feltmoment har fått fokus i denne oppgåva då lange spenn har stor betyding for dette. Vidare er ikkje alle situasjonar som omtala tidlegare. Det kan vere fleire situasjonar der ein like gjerne vel ein kontinuerleg bjelke over fleire opplegg. Det gir andre snittkrefter og vil til dømes gi ei ekstra stor reaksjonskraft over midtopplegget. Sjå Figur 10. Dette er noko som er viktig å ta omsyn til. Har ein berre ein fritt opplagt bjelke får kvart opplegg $qL/2$ som ved to felt blir qL . Ein reduksjon på 20% i forhold til ein tofeltsbjelke.

Punktlaster er også viktig å dimensjonere for om desse opptrer i konstruksjonen, men då jamt fordelte laster er vanlegast å rekne med i bygg, er det berre desse som har blitt omtala her.

System og last	Maksimalt feltmoment (qL^2)	Støttemoment (qL^2)	Reaksjons- krefter (qL)
	$M_1 = 0.0703$ $M_2 = 0.0703$	$M_B = -0.125$	$A = 0.375$ $B = 1.25$
	$M_1 = 0.0957$	$M_B = -0.0625$	$A = 0.4375$ $B = 0.625$ $C = -0.0625$
	$M_1 = 0.080$ $M_2 = 0.025$ $M_3 = 0.080$	$M_B = -0.10$ $M_C = -0.10$	$A = 0.40$ $B = 1.10$ $C = 1.10$ $D = 0.40$

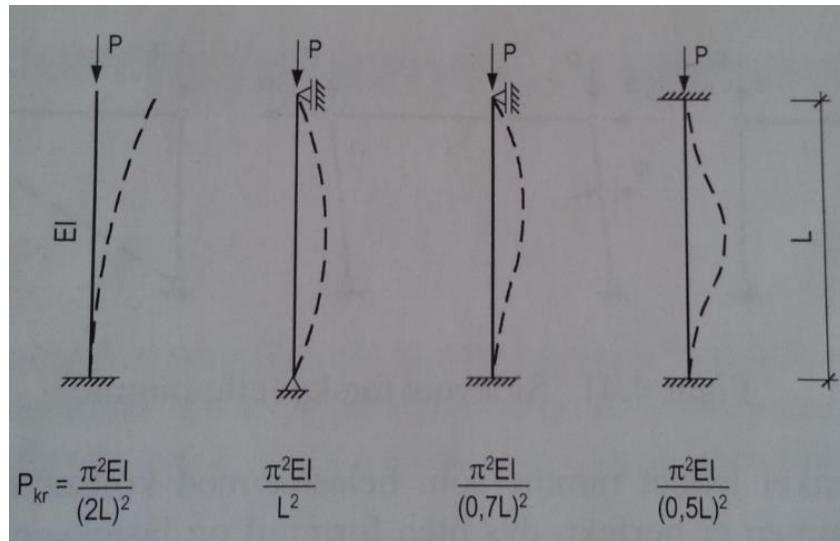
Figur 10: Snittkrefter for kontinuerlege bjelkar (Institutt for konstruksjonsteknikk, 2003)

Søyle

Ei søyle er ein konstruksjonskomponent som i hovudsak skal føre over trykk-krefter, men i mange tilfelle vil den også måtte ta opp moment- og skjærkrefter. Betong er mykje brukt i søyler, men alt etter bruksområdet finn ein like så godt søyler i andre materialar også, som stål og tre.

Med trykk kjem fara for knekking. Det er ofte veldig viktig å ta omsyn til, spesielt med slanke konstruksjonar. Som ein kan sjå ut i frå Figur 11 er knekklengda avgjerdande for kritisk last. Kortare knekklengde gir mykje lågare knekklast då lasta er omvendt proporsjonal med lengda. Det som avgjør knekklengda er randføresetnader. Blir søyla halden fast fleire plassar over lengda, vil knekklengda gå ned i forhold til om den berre er fasthalden i topp og botn. I tillegg vil typen innfesting vere viktig. Har ein momentstivt opplegg, vil det redusere knekklengda og dermed knekklasta. Vil ein rekne konservativt med fasthalding i topp og botn, kan ein i alle tilfelle setje knekklengda til heile lengda som gir:

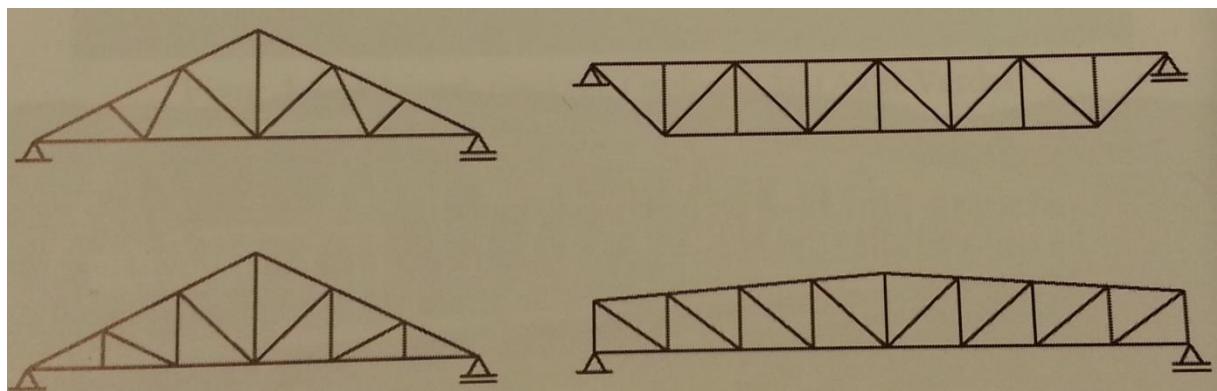
$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$



Figur 11: Kritisk last (Eulerlast) som funksjon av randbetingelsar (P. K. Larsen, 2008)

Stavar og fagverk

Ein stav er ein konstruksjonskomponent som er meint å berre overføre aksialkrefter. Lengda er mykje større enn tverrsnittsdimensjonane, noko som gjer den godt egna i fagverk eller avstivingssystem. Eit fagverk er bygd opp av eit sett med stavar som er forbundne i knutepunkt til ein 2- eller 3-dimensjonal konstruksjon. Knutepunkta blir i størst mogleg grad utført som ledd så dei ikkje kan overføre anna enn aksialkrefter. Dei er ofte utført i tre, stål eller aluminium og er eit svært effektivt system som kan bere store laster i forhold til eiga vekt (P. K. Larsen, 2008). Nokre eksempel på fagverk brukt som takstolar kan sjåast på Figur 12. Fagverk er ein gunstig konstruksjonskomponent fordi den klarer å utnytte brukt material på ein god måte. Ved å plassere gurtane med stor avstand vil ein oppnå god momentkapasitet samtidig som ein held materialbruk og vekt nede.



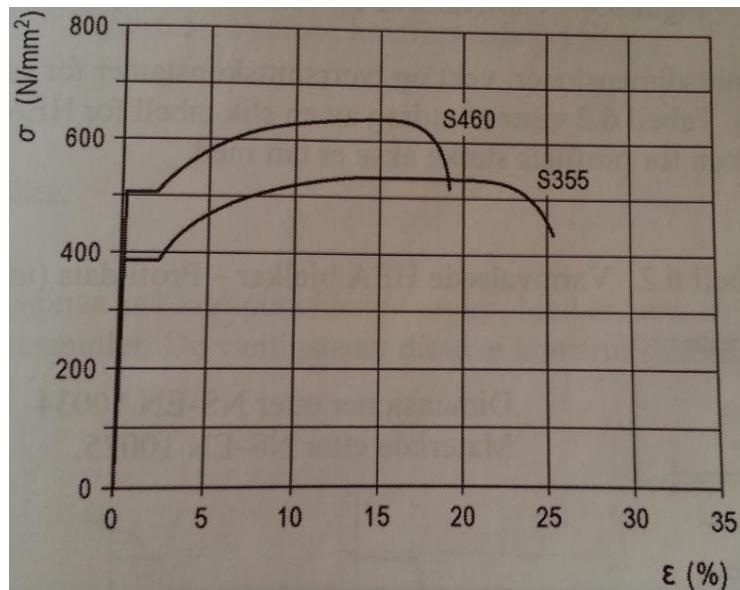
Figur 12: Eksempel på fagverk (P. K. Larsen, 2008)

Material

Går vi tilbake 100 år i tid hadde vi få byggematerialar i verda å velje mellom. Dette har dei siste åra berre vakse eksponentielt og i dag har vi fleire titalstusen. Likevel er det tre som skil seg ut som dei mest brukte og framstår som dei klokaste vala basert på eigenskapar, bruksområde og pris.

Stål

Stål er eit veldig allsidig material og fungerer vel så godt i trykk som strekk sidan det er homogent. Konstruksjonsstål er den mest brukte i dagens stålkonstruksjonar og består av legert stål med maksimalt 0,2 % karbon i tillegg til ei rekke andre legeringselement. Dei spelar inn på eigenskapane til stålet og kan mellom anna gjer det meir eller mindre duktilt, sterkare eller meir motstandsdyktig mot korrosjon. I dimensjoneringssamanhang er dei viktigaste parameterane flytespenninga f_y , brotspenninga f_u og töyinga δ . For S355, som er ein av dei aller mest brukte stålkvalitetane, er desse verdiane høvesvis 355 N/mm^2 , 510 N/mm^2 og 20 % (P. K. Larsen, 2008). Sjå Figur 13.

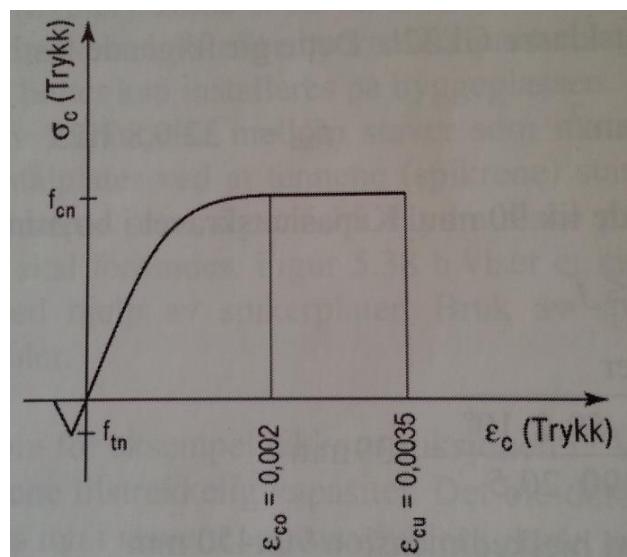


Figur 13: Eksempel på spenning-tøyningskurve for stål (P. K. Larsen, 2008)

Konstruksjonsstål er relativt dyrt å framstille, så dei kjem nesten utelukkande som standardiserte element. Dette kan vere bjelke-, stang-, rør- og holprofil i forskjellige dimensjonar. Ein god fordel med konstruksjonsstål er at framstillinga av denne er mindre variabel og medfører lav sikkerheitsfaktor. Stål i seg sjølv har nokså dårlig brannmotstand då det får betydeleg svekka eigenskapar under høge temperaturar. Heldigvis er det mogleg å isolere stålet så det held lenger. Nokre negative sider med stål er tyngda og moglegheita for korrosjon.

Betong

Betong er eit av dei mest anvendelege materiala vi har og kan formstøypast etter behov. I motsetning til stål er det derimot desidert best i trykk og strekkapasiteten blir oftast neglisjert. Strekkfastheita er berre 5 til 8 % av trykkfastheita. Sjå Figur 14. I dei tilfella ein treng strekkstyrke brukar ein armering av stål. Denne leggast i den delen av betongen som føler strekk, og samvirket mellom materiala gjer at konstruksjonen vil fungere i både strekk og trykk. Det er også mogleg å bruke alternativ som karbon og glasfiber, men det er mindre utbreidd. Positive sider med det er at dei ikkje korroderer og kan gjøre konstruksjonen slankare.



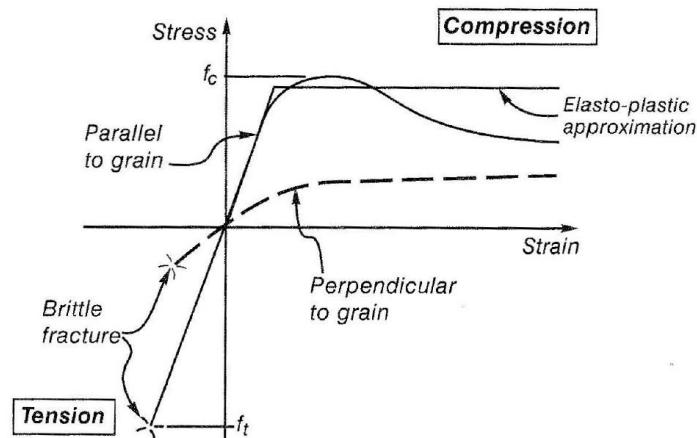
Figur 14: Spennings-tøyningskurve for betong (P. K. Larsen, 2008)

Betongklassene blir bestemt ut i frå terningfastheita til betong med sider på 100 mm under trykkipakkjennung. Trykkfastheita er 2/3 av denne. Typiske verdiar for ein vanleg betongkvalitet, C35, er for høvesvis trykk- og strekkfastheit på $22,4 \text{ N/mm}^2$ og $1,7 \text{ N/mm}^2$ (P. K. Larsen, 2008).

Det er to måtar å bruke betong på i eit bygg. Enten blir betongen støypt på byggeplass eller så kjem den som prefabrikkerte element som berre løftast på plass. Ei negativ side med betong er at den treng tid til å herde. I Norge reknar ein 28 dagar før betongen er ferdigherda. I realiteten vil betong aldri bli 100% herda, men kurva flatar veldig ut etter ein månad. Det gjer at ein i mange tilfelle vel å bruke prefabrikkerte element som ofte fører til ein raskare byggeprosess. Likevel ser ein mykje plasstøypt betong då den er veldig formbar. Betong er også god mot brann, men skarpe kantar og høg fastheit (lavt v/c-tal) gjer at ein kan få avskaling (Knarud, 2013). Derfor treng ein god overdekning og utforming for å både beskytte mot brann og korrosjon av armeringsstålet.

Tre

I Noreg har vi god tradisjon for å bygge i tre. Det er eit lett tilgjengeleg materiale som er sterkt i forhold til si eiga vekt og som er enkelt å binde saman med bruk av spikarar eller skruar. Samtidig er det eit organisk materiale som kjem ferdig med mange forskjellige feil. Dette kan vere kvistar, tennar og variasjon i fiberheling. Ved feil lagring eller bruk kan ein også få skader frå sopp, røte og insekt (P. K. Larsen, 2008). Tre har også veldig forskjellige eigenskapar i strekk og trykk, men i motsetning til betong kan det fint brukast i strekk sjølv om treet er sterkest i trykk. Som ein kan sjå frå Figur 15 er den største forskjellen mellom trykk og strekk i tre duktiliteten under trykk. Brannmotstanden til tre er for mange overraskande god. Sjølv om tre er eit brennbart material, vil tre forkolast før det brenn heilt opp. Det gjer at treet dannar eit beskyttande lag mot brannen som gjer at styrken kan oppretthaldast nokså lenge. Dette er det mogleg å rekne på då ein veit kor fort treet brenn opp, som gjer at ein kan dimensjonere for ønska evakueringstid.



Figur 15: Strekk-trykk-relasjon i tre (Buchanan, 2013)

Lastareal

Dei lastene som i all hovudsak verkar på eit bygg er eigenlast, nyttelast og naturlaster. Nyttelast kan vere både fordelte laster og punktlaster. Naturlaster er først og fremst snø- og vindlast.

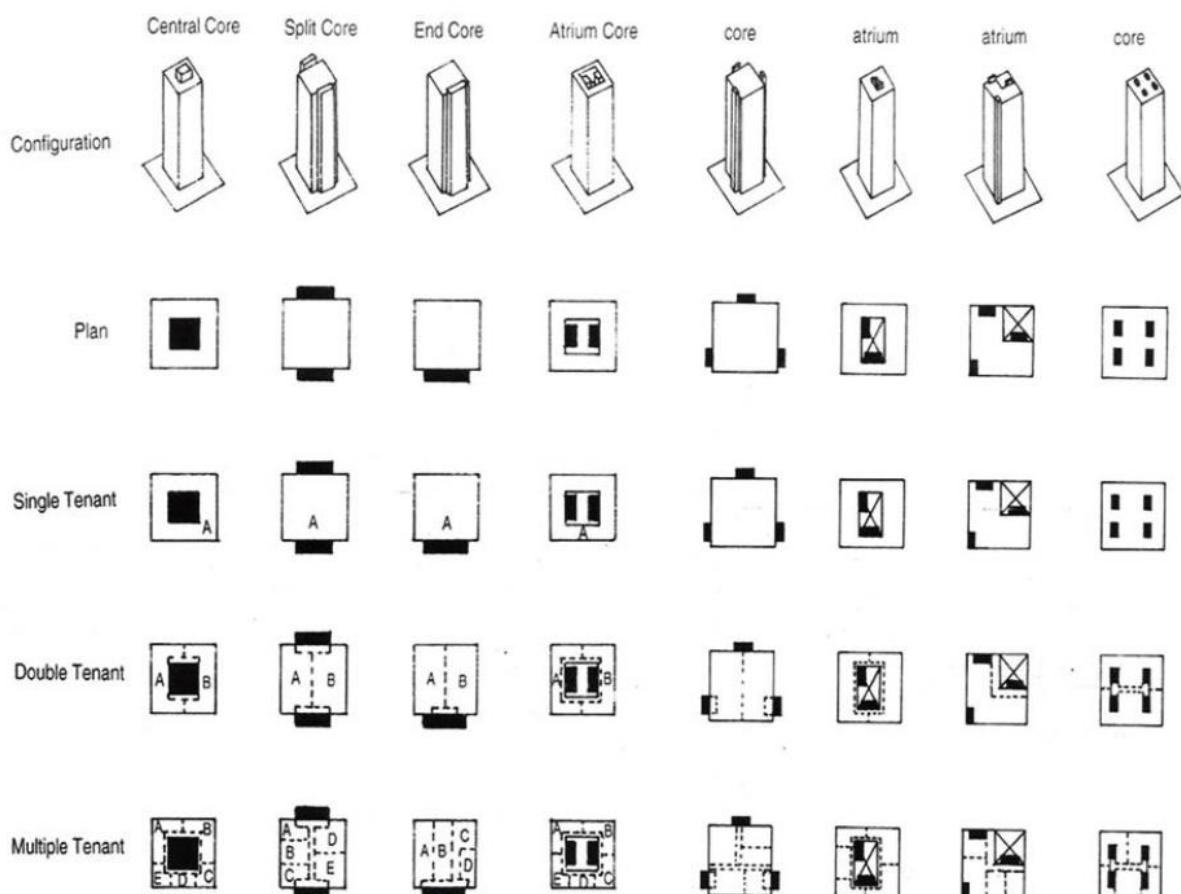
For å bestemme lastsituasjonen for kvar berande element, vil det vere essensielt å vite kva laster som verkar på elementet. Dette kan både vere punktlaster og jamt fordelte laster. For sistnemnde vil lasta vekse i takt med arealet den verkar over. Det er derfor hensiktsmessig å definere eit lastareal. Då kan ein enklare vite kor mykje last som går til kvar bjelke og søyle. Lastarealet blir definert ut i frå avstandane mellom elementa. Er det på eit golv ei vertikal jamt fordelt last, vil det mellom to bjelkar bli fordelt like mykje last til kvar. Vidare vil lastarealet bli like langt som bjelken er lang, eller sagt på ein annan måte; like lang som avstanden mellom to søyler/veggar.

Beresystem i høgreiste bygg

I høgreiste bygg er vertikal last av stor betydning. I tillegg må ein ta omsyn til vind og seismisk aktivitet. Ved store laster må dimensjonane på konstruksjonen vere deretter og dette tar plass. Vertikallast er ofte nokså grei å dimensionere for. Den verkar med tyngdekrafta og søylene vil tilnærma auke lineært med lasta. Vindlast og seismisk aktivitet er vanskelegare. Desse lastene verkar ikkje med tyngdekrafta og angrip bygget på mange, dynamiske måtar. Derfor treng ein å sette inn veggskiver og/eller stålkryss for å kunne gjere bygget stift sideveis. Ei utfordring her er å få horisontalkretfertene ned i bakken. Er bygget slankt, altså høgt og smalt, er dette ekstra utfordrande. For å få tilstrekkeleg breidde til å ta ned lastene treng ein plass. Dette kan hindre utsyn og ta opp mykje golvareal, men alt baserer seg på kva alternativ ein vel. Nokre system er betre enn andre når ein bygg i høgda og kombinasjonar av søyler og kjernar gjer det mogleg å få til gode system.

Kjerne

Så godt som alle høgreiste bygg i dag utformast rundt ein kjerne. Denne kjernen er som regel midt i bygget og inneheld blant anna heis- og trappesjakter, tekniske føringsrør og toalett. Kjernen vil også ta mykje av den vertikale lasta i bygget og gi stor stabilitet mot horisontale laster. Utforminga av denne vil legge grunnlaget for flyten og er ein svært viktig del av bygget. Dei fleste kjernane blir bygd i betong, men ein ser også tilfelle der dei er bygd i andre material som stål.



Figur 16: Kjerneoversikt (Finocchiaro, 2014)

Figur 16 viser ei oversikt over dei mest brukte kjernetypane vi finn i høgreiste bygg i dag. Den gir også ei grafisk framstilling av moglege inndelingar av bygget ved fleire leidgetakrar. Det kan vere eit viktig aspekt ved val av kjerne. Om ein berre skal ha ei bedrift per etasje kan ein velje nokså fritt, men om talet på bedrifter aukar til fire-fem, kan dei forskjellige løysingane vere avgjerande for areal, støy og infrastruktur. I tillegg vil det kunne bli ei utfordring å få nok dagslys inn til dei forskjellige kontora om ein må sette opp interne veggar for å skilje bedriftene. Då vil der vere nokre kjerneløysingar som er betre enn andre. Vidare i rapporten vil det bli diskutert fordelar og ulemper rundt val av kjerne og moglegheiter som ligg her.

Senterkjerne

«Central Core» er mest brukt då den berre tar opp plass midt i bygget som er gunstig med tanke på naturleg dagslys. Den er lett tilgjengeleg frå alle sider og har god stabilitet. Avstandane til alle delar av bygget blir god, som både gjeld for personflyt og tekniske føringar. Derimot er den midt i planløysinga og skapar eit hinder for å få laga eitt stort rom. Dette er oftast ikkje det einaste hinderet for å få opna opp ei planløysing. Kjernen er også eit svært viktig element i berekonstruksjonen til bygget. Tar ein vekk denne må ein ta opp vertikal og horisontal bering ein annan plass. Når ein startar å sjå på denne problemstillinga, vil ein også innsjå at ei sentral kjerne vil vere gunstig for berekonstruksjonen elles. Bjelkane får eit naturleg opplegg på kjernen og spennlengda blir deretter. Tar en vekk kjernen for å kunne opne opp heile etasjen, må ein ta stilling til om ein også må flytte vertikal bering til fasaden for å unngå interne søyler. Dette gir eit bjelkespenn som er over dobbelt så langt og ei auke i oppleggskrefter då talet på opplegg blir redusert.

Delt kjerne

Fleire bygg i dag er så pass store og uregelmessige at ein kjerne ikkje er tilstrekkeleg. Dette kan blant anna kome av for stor utstrekking av bygget, som gir krav til fleire rømingsvegar, fleire vertikale sjakter for tekniske føringar og heisar. På Figur 16 er desse vist som «Split core», «Core» og til dels «Atrium». Her deler ein opp den totale mengda kjerne som er nødvendig og fordelar den utover bygget. Kjernen blir oftast utført i betong og dannar stive skiver som er med på å ta opp vind- og seismiske laster i tillegg til vertikal last. Talet på skivene vil vere avgjerande for kor stiv bygninga blir, og i mange tilfelle vil det derfor vere fordelaktig å splitte kjernen opp i fleire. Skjeringspunktet mellom skivene vil også vere av betyding for å ta i vare rotasjonsstivheita til bygget.

Brukbart areal er ofte det viktigaste for ein byggherre. Kor mange prosentvis kvadratmeter han kan leige ut er viktig for å optimalisere investeringa. Det skal gå med minst mogleg til det byggetekniske og anna som ikkje gir profitt. Tekniske installasjonar stel både volum vertikalt og horisontalt. Viss ein kan redusere desse, vil det bety auka optimaliseringgrad. Det vil med andre ord vere ganske mange faktorar i spel for å velje den beste løysinga.

På 80-talet prøvde ein å utfordre etablerte tankar på dette feltet og i London vart The Lloyds Building bygd. Utforminga av dette bygget er mildt sagt ikkje helt tradisjonelt. Kva som vart gjort her blir presentert på neste side, og seinare brukt som inspirasjon for utforming av eit bygg med delt endekjerne og superetasjar.

The Lloyds Building

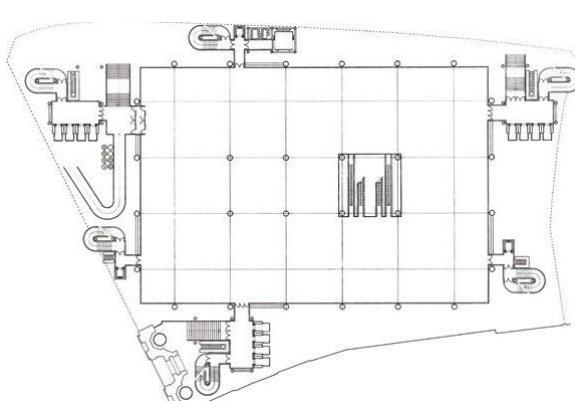
Frå prosjektoppgåva: «The Lloyd's of London» er kjent som ein stor arkitektonisk prestasjon frå 80-talet . Det er som «The Gherkin» lokalisert i The City of London og ragar 88 meter over bakken. Bygget er kanskje mest kjent for sin unormale plassering av servicesjakter på utsida av bygget. Alle tekniske installasjonar og trappesjakter med meir er plassert utvendig noko som opnar opp bygget innvending. Sjå Figur 18. For å få til dette er det plassert betongsøyler i fasade i tillegg til åtte i midten av bygget over to rader. Dette blir utnytta til å skape eit stort atrium med naturleg lys kommande ovanfrå. Dette er overbygd av eit stål-glasgitter som gjer at atriet er lettare å varme opp, og som også gjer at det kan brukast som ein varmebuffer. I tillegg slepp det inn mykje lys.

Berande konstruksjonar er av betong. I starten var det tenkt å bruke stål, men pga. brannomsyn vart det endra til betong. Fasaden er likevel av stål og set sitt særpreg på bygget i kombinasjon med ytre sjakter. Mange kjenner bygget som «innside-ut-bygget» sidan det har plassert alle tekniske installasjonar utvendig, noko som er med på å gi bygget det særpreget det har. Sjå Figur 17. Fokuset då det vart bygd var å få til eit bygg som var tidlaust, fleksibel og føreseieleg. Mange vil likevel hevde at bygget er nokså låst og ikkje like fleksibel som først ønska. Dette fordi planløysinga er låst til å ha kontakt med alle utvendige sjakter og tvingar fram korridorløysingar som ikkje er fleksible nok. Uansett er der mange fordelar med å gjere det som det er gjort, men sidan denne metoden likevel er nokså sjeldan kan ein tenke seg den ikkje er så god som ein trudde. Nokre av fordelane er at det er lett å kome til dei tekniske installasjonane. Å få bytta ut desse krev mindre inngrep i bygget.



Figur 17: Lloyd's building (Planetden, 2014)

For si tid er bygget høgteknnisk og tar i bruk mange passive og aktive system for å spare energi. Sjå Figur 19. For eksempel skal det ikkje vere ein plass i bygget som har lenger enn sju meter til dagslys, og i eksteriøret er det trippellags glas som isolerer godt. I tillegg bruker ein termisk masse (betong) til å ta opp overvarme som igjen blir kjølt ned nattestid for å unngå overoppheiting (Kasia Badura & et.al., 2014). Summa summarum er det også her gjort ein god jobb i å inkludere god planlegging over alle fag og mange vil seie at bygget framleis ser bra ut då det har eit nokså tidlaust design.



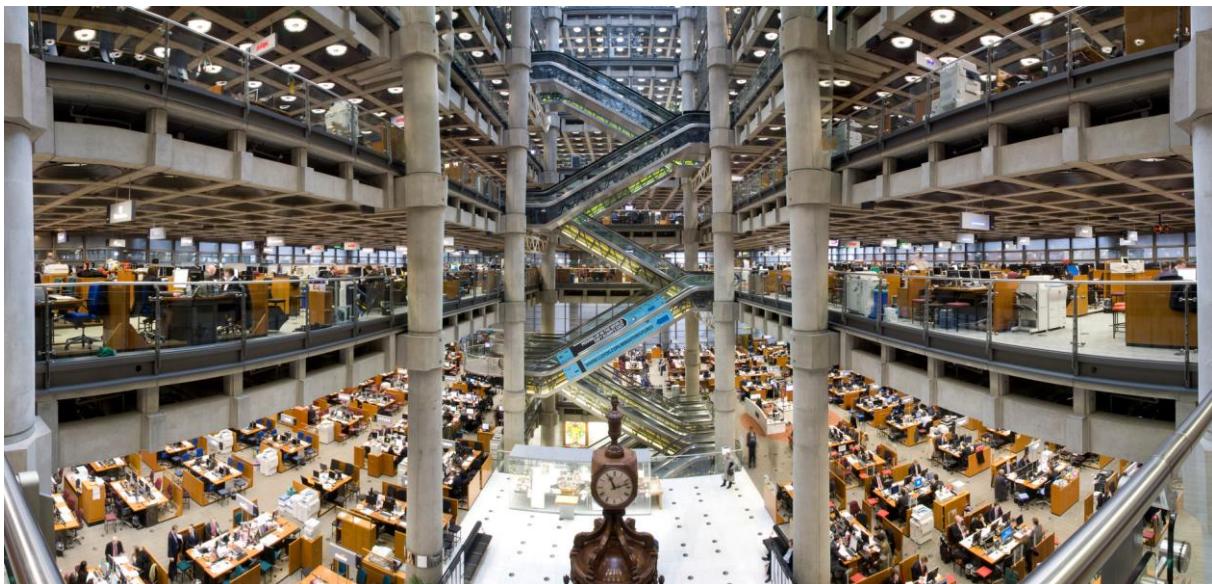
Figur 18: Tekniske sjakter (Wallpaper, 2007)



Figur 19: Energisystem (Kasia Badura & et.al., 2014)

Konstruksjon

Om ein studerer berekonstruksjonen i The Lloyds Building ser ein frå Figur 18 og Figur 20 at det er åtte interne søyler. Desse er i betong og er einaste interne berelement vertikalt. Den valde løysinga gjer at ein har moglegheit til å opne opp heile bygget innvendig. Alle etasjane er opna opp mot atriet i midten av bygget og der er opne kontorlandskap utan skiljeveggar. Internt på kvar etasje har ein då moglegheita til å innreie slik ein vil. Dette gir ei viss form for tilpassingsevne, men som tidlegare omtala blir planløysinga nokså låst likevel på grunn av tilkomst til infrastruktur.



Figur 20: Lloyd's building innvendig (Lloyd's, 2011)

Eit potensiale som prosjekteringsgruppa kunne tatt med i utrekningane er å dimensjonere for å etterbygge etasjar i atriet. I framtida vil ein ha eit enda større plassbehov enn i dag, og om ein kan legge til rette for å auke bruken av eksisterande bygg vil det både vere bra for miljøet og truleg bra økonomisk sett. Søylene internt står i eit rutenett på ca. 10 x 10 meter og ved å tette igjen i atriet vil kvar søyle få eit auka lastarealet på 50 m². Dette er basert på at arkitekten ønskjer at det aldri skal vere meir enn sju meter til dagslys uansett kvar ein er i bygget (Kaisa Badura, Dybwad, & Gjonbalaj, 2014). Vidare vil då avstanden mellom dei interne og eksterne søylene vere 14 meter. Det eksisterande lastarealet blir 70 m² og det nye 120 m². Sjølv med ei lastareaalauke på 70% er det ikkje sikkert søylene vil auke med 70%. Slik situasjonen er no vil det også vere eit større skeivfordelingsmoment, sidan der ikkje er noko motvekt i atriet. Ved å innføre tette etasjar vil det kunne gi eit meir gunstig lasttilfelle som gjer at søylene ikkje treng å auke i takt med lasta i like stor grad.

Dette må så klart sjåast opp mot ny og gammal tilstand. Om ein bygger tett med ein gong, vil det gi ein annan situasjon frå starten av. Ved tofeltsbjelkar vil momentet på midten bli mindre, noko som kan vere med å redusere tverrsnittet på dekket. Om ein først har dagens situasjon vil ein måtte dimensjonere for større feltmoment frå starten av. Om ein så klarer å forlenge dekket til to felt må ein berre sjå på det som positivt. Då gitt at ein klarer å la nytt og gammalt dekke samvirke over opplegget, noko som ikkje sikkert blir tilfelle.

Det er uansett fascinerande å sjå eit bygg som tenker annleis på tekniske føringar og personflyt. Ein får eit anna type bygg som bringar inspirasjon og nytenkande idéar. Eit bygg med potensial er eit bygg for framtida, og med sitt tidslause design kan denne kombinasjonen skape eit forbilde.

Endekjerne

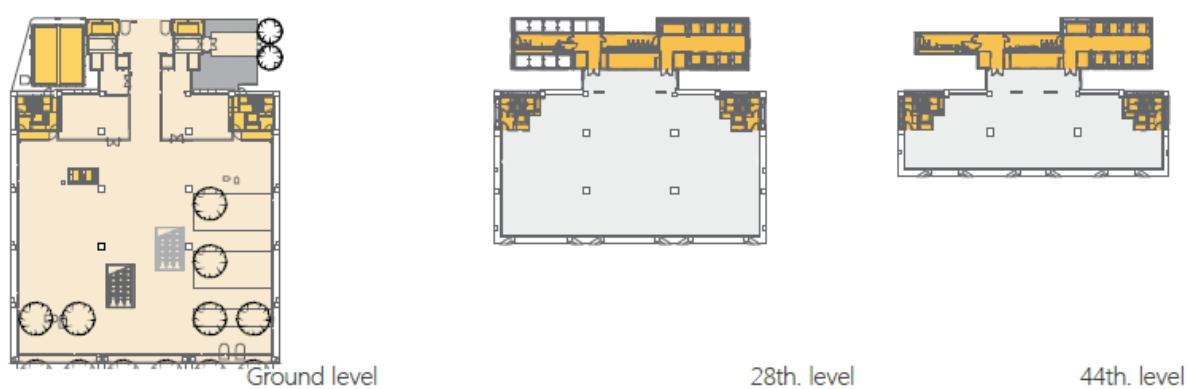
Nokre bygg er så originale at dei treng ei meir spesiell løysing for bygget sin infrastruktur. Kjernen blir plassert i eine enden av bygget, som ein ryggvirvel. Dette gir moglegheit for ei meir open planløysing, men låser på same tid store delar av eine fasaden. Denne vil hindre dagslys i å kome inn i bygget og lagar samtidig ei skeivfordeling i stivheita til bygget. Likevel gir det så mange fordelar på andre felt at det veg opp for dei mindre gunstige effektane. Eit eksempel der endekjerne er brukt med stort hell er The Leadenhall Building i London:

The Leadenhall Building

Frå prosjektoppgåva: The Leadenhall Building (sjå Figur 21) er ein 240 meter høg skyskrapar som rommar kontorareal og har fått sitt namn frå gata den ligg ved; «122 Leadenhall Street». Bygget er i snitt forma som ein trekant og har dermed fått tilnamnet «The Cheese grater», eller rivjernet på norsk. Dette er gjort ved at fasaden er vinkla 10 grader innover og kvar etasje redusert med 750mm (Inman et al., 2014). Mykje av grunnen for denne forma er fordi ein måtte bevare utsikta forbi bygget mot St. Paul's Cathedral. Då forma på bygget fekk ein slik karakter, merka arkitektane fort at det ikkje var nok brukbart areal i bygget ved bruk av vanleg berekonstruksjon med kjerne i midten. Dette gav rett og slett for lite areal per etasje og ingen byggherre ville betale for dette. Prosjektgruppa hadde derfor behov for å tenke nytt og løysinga dei kom opp med var å plassere kjernen som ein ryggspiral bak bygget. Sjå Figur 22. Alt er konstruert i stål bortsett frå fundament og etasjeskiljarar i betong. Skyskraparen er også lokalisert på ei svært lita tomt i høve størrelsen på bygget. Dette gjorde byggearbeidet krevjande og ein heilt ny metode for byggeprosess vart nytta. Heile bygget kom som eit stort puslespel med prefabrikkerte element som vart satt saman på byggeplass. Dette kravde svært nøyaktige teikningar og ein iherdig planleggingsprosess for å klare å følgje tidsskjema under bygging. På den andre sida var behovet for arbeidarar på byggeplass sterkt redusert og byggetida gjekk ned.



Figur 21: The Leadenhall Building (Security, 2014)



Figur 22: Planløysing (Inman, Almeida, Colas, & Tveit, 2014)

Heile berekonstruksjonen er i stål og er laga med bering i fasade og interne søyler. Utvendig er søylene forma som fagverk eller diagrid og blir også brukt for å gi bygget eit estetisk preg. Vidare består konstruksjonen av superetasjar som vil seie at den overfører laster frå sju og sju etasjar ut i hovudberesystemet. Dette gjer at ein kan opne opp delar av bygget og få svært høg romhøgde om ønskeleg, noko som er gjort i første etasje. Her har ein laga eit stort atrium med takhøgde på 28 meter (Young, Annereau, Butler, & Brian, 2013) som er synleg frå gatenivå og foreinar inne og ute på ein estetisk god måte. For å få til dette består fagverket av spesiallaga, svært store og lange søyler som måtte transporterast inn med spesialtransport med politieskorte nattetid. Dei var så mykje som opp til 26 meter lange og vog opp til 70 tonn kvar (O'Rourke, 2011). I tillegg til dette er der i fasaden K-stag som dannar primært stabilitetssystem som tar opp vindlaster og til dels vertikal last. Dette fungerte også under konstruksjon som stabilisering motvekt for «megasøylene». I tillegg til hovudberekonstruksjonen for skyskraparen vart den tekniske kjernen montert på baksida. Denne er sjølvberande, men har kontakt i horisontalplanet. Dette gjer at den kan motstå vindlast og jordskjelv, og at den til ei viss grad også vil stabilisere motsett vei. I denne er alle tekniske føringar, toalett og heiser montert, bortsett frå to trappesjakter som av brannomsyn måtte vere i hovudbygget. Faktisk var ingeniørane så fornøgd med denne idéen om å plassere kjernen som eksteriørt element at dei mala den gul for å framheve konseptet for alle som ser bygget frå utsida.

Etter kvart som ingeniørane såg korleis forma på bygget kom til å bli, innsåg dei at dei kom til å få eit problem med balanse i bygget. Med det er det meint at nordsida av bygget, den sida som er vendt mot den tekniske kjernen, ville bli tyngre enn den som er vendt mot «Leadenhall Street». Ein kunne altså ende opp med eit bygg som ikkje kom til å vere rett, men tippe over mot nord. Ingeniørane kom då opp med ei smart løysing. Ved å plassere skiver i ledda mellom søylene (sjå Figur 23) kunne dei i ettertid jekke desse frå kvarandre og fjerne skiver alt etter behov. Sjølv om søylene kunne føle svært store krefter var desse kraftene i strekk og ville hjelpe til med å løyse opp knutepunktet. Metoden viste seg å vere veldig effektiv. Desse knutepunkta er også spesiallaga og forma slik at dei skal kunne kople saman fire søyler og to bjelkar. Faktisk er så mykje som 83% prefabrikkert (O'Rourke, 2011), med hovudsakleg fundament som måtte plassstøypast.



Figur 23: Søyleskiver (Inman et al., 2014)

Sidan bygget var så pass høgt, var det ikkje mogleg å bruke naturleg ventilasjon over heile bygget. I toppetasjane var vindtrykket for høgt, så her måtte ein inn med full mekanisk styring. På toppen av bygget var golvarealet nokså avgrensa sidan fasaden var vinkla innover. Dette gjorde at det ikkje vart økonomisk å fortsette den tekniske kjernen vidare. Ein trengte dessutan ein plass å huse alt teknisk utstyr. Derfor sette ein av dei øvste etasjane til dette og fekk plass til nødvendig utstyr som ventilasjonsaggregat og varmevekslarar med meir.

Bygget framstår veldig smart og nytenkande og det verkar som om både arkitektar, men kanskje spesielt ingeniørane på dette bygget, har gjort ein svært god jobb. Tomta var lita, bygget stort og kompleksiteten høg. Måten det er løyst på er god samtidig som ein fekk ned byggetida og behovet for arbeidskraft vart redusert. Dette bygget kjem nok til å stå som eit godt eksempel for mange nye bygg i framtida.

Konstruksjon

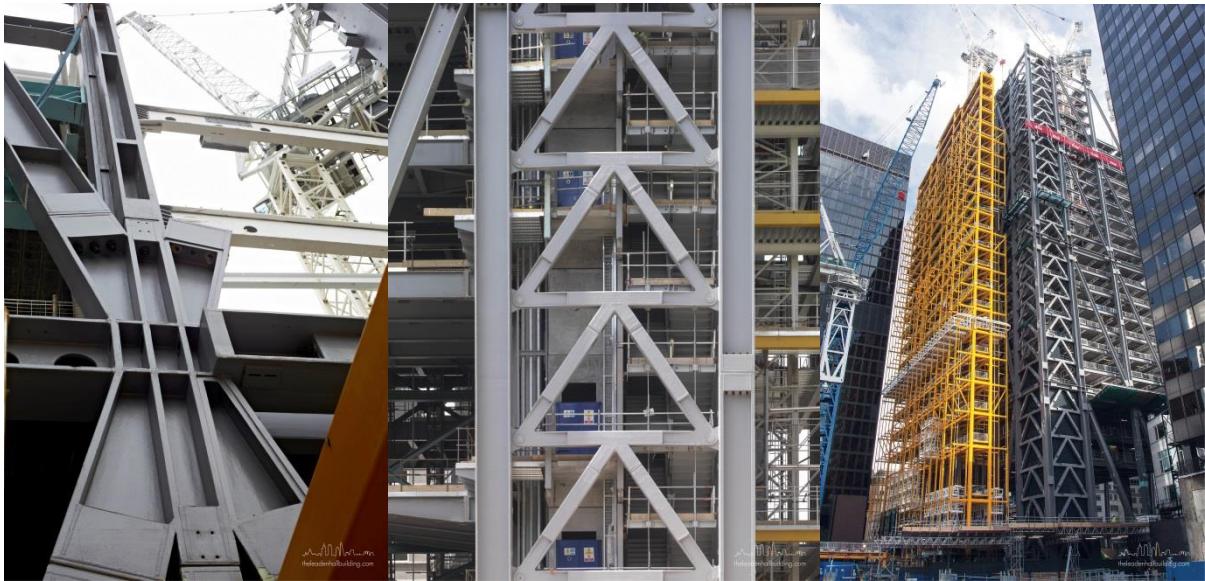


Figur 24: Søylene (Building, udatert)

Berekonstruksjonen til The Leadenhall Building er som omtala nokså spesiell. Svære prefabrikkerte element har blitt satt saman på byggeplass. Elementa er nokså forskjellige og er spesialutforma for å tilpasse seg bruken. Dei lange søylene ser ut til å ta mesteparten av vertikal last, samtidig som dei er med på å stabilisere bygget mot horisontale bevegelsar. Sjå Figur 24. Mesteparten av berekonstruksjonen er spesiallaga for akkurat dette bygget og dermed måtte ein også forme eigne knutepunkt. Sjå Figur 25. Desse forbinder opptil seks søyler i tillegg til bjelkane. Etasjeskiljarane blir så montert på søylene. Det er med andre ord ikkje ei superetasje med internt fagverk som foreslått seinare, men ei samankopling av beresystemet som gjer det mogleg å ta vekk etasjane. På den måten kan ein skape det opne rom internt i bygget om ønskeleg. Beresystemet fungerer altså i samvirke over sju etasjar og det verkar som om søylene er dimensjonert med knekklangde over like langt strekk. Det treng ikkje sideveis fasthalding av etasjane, noko som kan bety at etasjane ikkje er stive nok til å kunne motverke rotasjon/knekking av søylene. Derfor er søylene mest sannsynleg dimensjonert med full knekklangde over heile superetasjehøgda.

For å ta i vare stabiliteten til bygget er det på kvar side og bak bygget montert eit K-fagverk. Sidan dette er konstruert nokså kompakt, vil det gi stor stivheit og i lag med dei lange søylene vil det «stramme opp» bygget vesentleg. K-fagverket vil sørge for global stivheit, men for å få lokal stabilitet langt vekke frå dette vil det måtte overførast noko i resten av bygget. Det kan tenkast at det vil vere noko slakk i dei lange søylene, men saman motverkar desse to systema svakheitene til kvart system og gjer bygget stabilt mot naturlaster. K-fagverket er eit godt eksempel på ei mogleg løysing om ein vil erstatte ei tradisjonell betongkjerne som ofte får akkurat denne funksjonen i ein berekonstruksjon. Dersom ein studerer figuren i midten på Figur 25, vil ein sjå at innfestingane i K-fagverket faktisk er utforma som fysiske ledd. Dette er for å vere sikker på at staga i fagverket berre vil overføre aksialkrefter og ikkje momentkrefter inn på søylene. Det vil vere viktig for ikkje å få lokal knekking. Søylene skal i hovudsak overføre strekk og trykk-krefter.

Bildet til høgre på Figur 25 viser ei oversikt over heile berekonstruksjonen til bygget. Her ser ein den gule tekniske kjernen som går på baksida av bygget. Det er i seg sjølv vertikalt berande, men har liten stabilitet horisontalt. Derfor er denne montert saman med resten av bygget for at K-fagverket også her skal gi god nok stabilitet. Ein kan seie at den tekniske kjernen «lenar» seg på resterande konstruksjon.



Figur 25: Venstre: Knutepunkt. Midten: Avstivingssystem. Høgre: Konstruksjonsoppbygging (Building, udatert)

Det kan tenkast at dette systemet med superetasjar er eit spennande skjeringsfelt opp mot teknisk mellometasje. Viss ein set inn fagverk som berande element ved kvar superetasje, vil dette gi nye moglegheiter. Har ein behov for store areal sett av til tekniske installasjonar knytt opp mot ei bruksetasje, kan det vere interessant å kombinere desse byggemetodane. Superetasjane gir moglegheit for store opne interne volum medan TME gir rom for både tekniske installasjonar og kraftig berekonstruksjon. Ein kan for eksempel sjå føre seg ei løysing med fagverk like høge som den tekniske mellometasjen som blir så solid at den kan bere mykje meir enn vekta av TME. Dette kan nyttast til å henge opp etasjane under. Stålstag i strekk krev ein mykje mindre tverrsnittsdimensjon enn søyler i trykk. Det vil bidra til meir opne rom og større tilpassingsevne. Ein vil blant anna kunne oppnå ei søylefri første etasje. Oppgåva vidare vil omhandle akkurat dette.

III

Teknisk mellometasje

Tekniske føringer er noko alle bygg treng. I bustadhus vil ein gjennom livsløpet stort sett ha dei same rominndelingane som då bygget vart bygd. Bad, teknisk rom og kjøkken blir på same plass sjølv om ein vel å pusse opp. Dette gjer at ein ikkje stiller større krav til bruksendringar og alle tekniske føringer kan gå på same plass. I næringsbygg har ein gjennom levetida til bygget ofte større behov for utskifting og endringar. Heldigvis for infrastrukturen i bygget gjeld dette som regel for kontorlandskap, møterom, arkiv og andre lette installasjonar. Rom som treng tilgang på vatn og avløp vil gjerne halde fram med å vere på same plass. Dette gjer at ein ikkje treng å starte store ombyggingsprosjekt for å få endra bruksmönsteret til bygget. Ein tar i vare bygget sin fleksibilitet og kan gjere planmessige endringar, som å endre frå cellekontor til opne landskap, utan større inngrep.

Tekniske mellometasjar er ikkje veldig utbreidd i dag. I staden går dei fleste bygg av litt størrelse for ei løysing med tekniske rom med føringer langs heissjakt / betongkjerne. Likevel ligg her ei moglegheit som vil gjere det lettare å endre funksjonen til individuelle etasjar eller til heile bygget, alt etter behov. I helsebygg, som sjukehus, har ein i nokre tilfelle tatt i bruk tekniske mellometasjar. Sjå faktaboks til høgre som omtalar dei mest brukte byggemetodane på norske sjukehus.

TME er etasjar som blir plassert over tyngre bruksfunksjonar med stort behov for tekniske installasjonar som operasjon, røntgen, intensiv og forskingsavdelingar (Kallmyr, 2004). Her har ein ofte utskifting av avansert teknisk utstyr raskare enn ombygging finn stad. Desse har behov for tilknyting opp mot bygget sin infrastruktur og i nokre tilfelle vil også dette utstyret produsere så mykje støy at det kan vere nødvendig å ha det i eit separat rom. Her kjem dei tekniske mellometasjane inn i bildet. Ved å bygge ei etasje mellom to vanlege etasjar som har takhøgd nok til å gå i gjer ein alt dette mykje lettare. Det blir mogleg å skifte ut utstyr, drive vedlikehald og legge til rette for endring i bruksmönster utan å stenge av tilhøyrande etasje. Når ein så ser det er behov for ombygging vil dette gå mykje raskare då alle infrastruktur ligg klar.

Fakta om norsk sjukehusutbygging sidan 50-talet:

«Tårn og kake» fra 1960- og 1970-årene med sengeposter i høybygg og behandlingsavdelinger i lavere bygningsmasse (SiA, RiT, Buskerud sentralsykehus, Lillehammer fylkessykehus, Sentralsjukehuset i Sogn og Fjordane i Førde, Haukeland sykehus i Bergen). Dette er et utbyggingsprinsipp som har vært, og fortsatt er, meget vanlig innenfor Europa og USA. Hensikten er å samle avdelinger med krav til fleksibilitet og spesielle tekniske installasjonar i områder med stor etasjehøyde, mens like sengeposter kan ligge over hverandre i høyblokk.

Funksjonsblandet bygningsblokk med flerkorridorsystem, med sengeavdelinger og behandlingsavdelinger innenfor samme sluttede form (Nordland sentralsykehus i Bodø, RiTØ i Tromsø). Utbyggingsformen kan gi kompakte løsninger på trange tomter, men krever i stor grad at ulike avdelinger formmessig og funksjonelt må tilpasse seg hverandre.

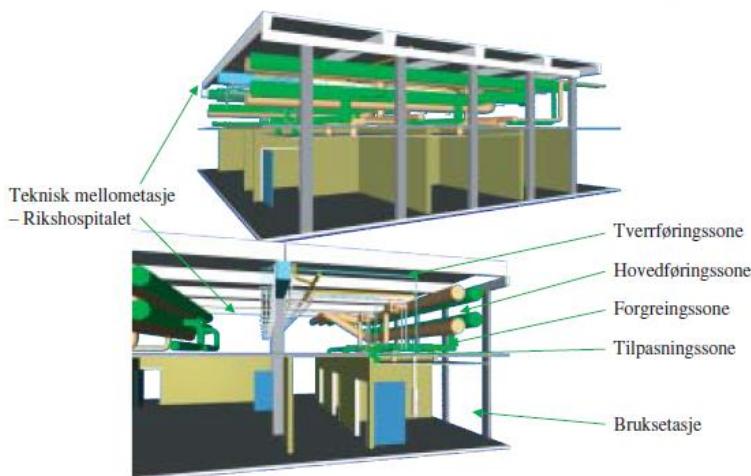
Større generelle bygningsstrukturer med lysgårder og tekniske mellometasjer. Slike er inspirert fra Mc Mastersykehuset i Canada og Veterans Hospitals i USA. (Utkast til MI i Tromsø, laboratorieblokken ved Ullevål sykehus, Vest-Agder sentralsykehus i Kristiansand og deler av Nytt Rikshospital). Utbyggingsfilosofien her er at avdelinger i en etasje kan endres og ombygges uten at det berører overliggende eller underliggende etasjer.

Lave «bystrukturer» (Nytt Rikshospital), med skille mellom bygninger for behandlingsavdelinger og sengeposter, som gjerer ligger på hver side av glassoverdekkede gater eller trafikkarealer. Her kan sengeavdelinger og tilhørende behandlingsavdelinger ligge på samme etasjeplan med korte horisontale forbindelseslinjer.

(Fortidsminneforeningen, 2000, p. 242)

Siv. Ing Kåre Kallmyr omtalar dette i ein publikasjon i HMT og viser til fleire fordelar med ei slik løysing. I byggeprosjektet får ein kortare byggetid og ein meir fleksibel byggeprosess. Under driftsfasa får ein stor fleksibilitet med tanke på framtidige ombyggingar som følgje av endra behov (Kallmyr, 2004). Her viser han også ein figur frå Rikshospitalet som forklarer oppbygginga av ei slik mellometasje. Sjå Figur 26. Dei økonomiske fordelane med TME er også omtala i «Healthcare Architecture in an Era of Radical Transformation» som er attgjeve i faktaboks til høgre. Her er det innsparingar i bygge- og driftsfase som er trekt fram som viktige.

Fremtidsrettede løsninger – teknisk mellometasje



Figur 26: TEKNISK MELLOMETASJE – RIKSHOSPITALET (KALLMYR, 2004)

Økonomiske fordelar med TME:

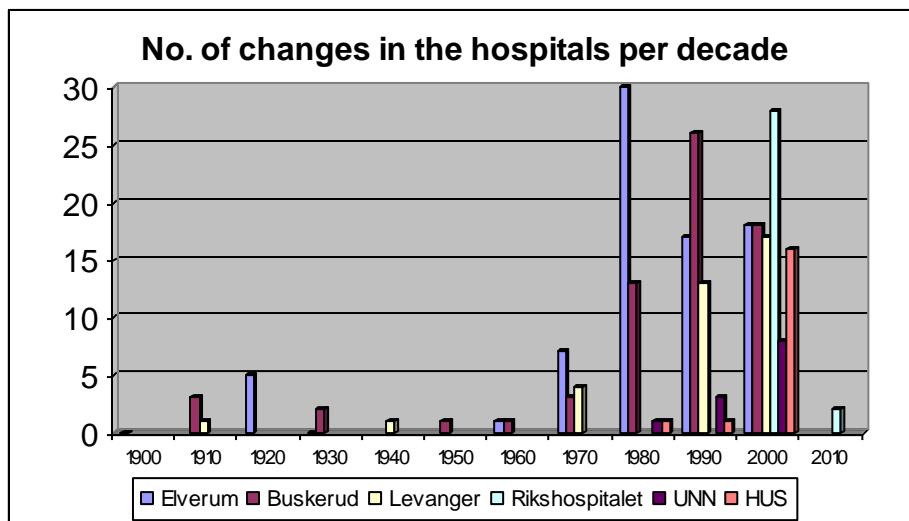
- 1: Innsparing i driftsfase på grunn av enklare vedlikehald og enklare tilgang til reperasjon av byggsystem.
- 2: Sparing i driftsfase på grunn av systemet sin ibuande fleksibilitet, då partisjoner kan flyttast enkelt.
- 3: Innsparing på grunn av kortare byggetid med tilhøyrande inflasjon, då bygging kan starte før all planlegging er ferdig.
- 4: I nokre tilfelle ein minimalisering av berekonstruksjon som minkar materialkostnadane.
- 5: Ei fordelaktig oppdeling av prosjektet i bod-pakkar.
- 6: Mogleg å endre design sjølv etter byggestart.
- 7: Innsparing på grunn av rettidig tilpassing gjennom betimeleg erkjenning av behovet for endring.

(Verderber & Fine, 2000, p. 119)

Sørlandet Sjukehus har også tatt i bruk TME i hovudbygget i Kristiansand. I e-post frå Per W. Torgeresen, sjå vedlegg 2, viser han til erfaringar frå byggeprosessen som berre var positive. Byggetid vart redusert på grunn av enklare framføring av teknikk og større arbeidsrom. Ved ombygging har TME bidrege til at drift i underliggende avdelingar har blitt vesentleg mindre forstyrra.

Eit av dei første bygga i verda som tok i bruk teknisk mellometasje var «Health Center for McMaster University» i Hamilton, Ontario, USA (Miller, Swensson, & Robinson, 2012). Det har eksistert så pass lenge at ein har fått eit godt erfaringsgrunnlag om nytta til teknisk mellometasje. Gjennom fleire tiår har sjukehuset vore med på fleire ombyggingar og gitt innsparingar på grunn av enklare tilpassingsevne. Eit eksempel er då sjukehuset skulle bygge om ein operasjonssal til transplantasjonssal på grunn av endra behov. Dette kosta 175.000 dollar. Samtidig skulle dette gjerast på eit anna sjukehus; Moncton hospital, New Brunswick. Dette var eit standard sjukehus utan teknisk mellometasje. Her kosta same endring 1.500.000 dollar (Zeidler, 2013). Ein forskjell på 1.325.000 dollar.

Erfaringsdata viser til ei kraftig auke i endringar på sjukehus i dag. Ei endring som starta for alvor på 80-talet. Sjå Figur 27. Det blir med andre ord berre viktigare med tida å legge til rette for enkel ombygging. Alle endringar fører med seg kostnadar og tidsbruk. Om ein kan planlegge frå starten av og legge til rette for dette vil det føre til innsparingar i framtida. Bruken av TME er ein metode å gjere dette på og investeringskostnaden er så vidt høgre, men kan bli tilbakebetalt med tida på grunn av føresette og uføresette ombyggingar (CO, Multiconsult, IGP, Lekven, & Consult, 1990). I tillegg vil drift og vedlikehald av tekniske installasjonar bli lettare.



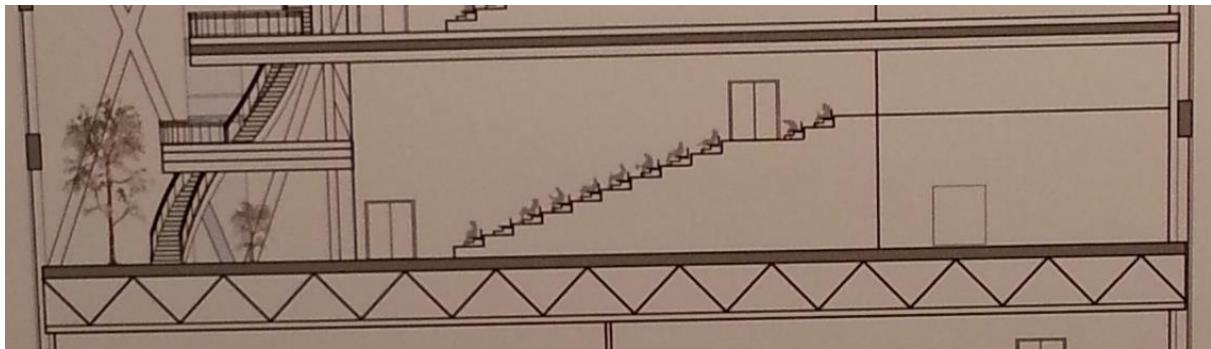
Figur 27: Talet på endringar per tiår for nokre norske sjukehus (Valen & Larssen, 2006)

Eit sjukehus kan sjåast på som eit lite samfunn med alle essensielle funksjonar, og for at alt skal samvirke best mogleg må ein ha rom for endring. Likevel treng ikkje alt og endrast samtidig. Bjørberg og Verweij (2009) viser til at «The Netherlands Board for Health Care Institutions» deler sjukehus inn i fire kategoriar med typisk prosentvis fordeling i parentes:

- «Hot floor»: All kapitalkrevjande funksjonar unikt for sjukehus; operasjonssalar, avansert bildediagnostikk og intensivrom (24%).
- Hotell: Sjukepleie; sengepostar og pasienthotell (27%).
- Kontor: Administrasjon, HR og poliklinikkar (36%).
- Industri: Laboratorium og kjøkken (13%).

Dette er ei praktisk inndeling då ein enkelt kan skilje mellom «tunge» og «lette» bruksfunksjonar. «Hot floor» vil vere meir dynamiske og ha større behov for, og utskifting av, tekniske installasjonar. Det vil vere i tilknyting til desse det er praktisk å bygge TME. I tillegg fortel inndelinga at ein fjerdedel av sjukehusbygga går med til «tunge» avdelingar og det kan derfor ha stor betydning om ein får lagt til rette for god tilpassingsevne her. Ein får moglegheita til å kartlegge arealbehov og kan avgrense kor mange av bygga og etasjane som treng å gjerast mest mogleg tilpassingsvennlege. Det kan vere med på å spare material- og pengebruk.

Utforming av denne tekniske etasjen er oftast utført med lik høgde over heile etasjen, varierande høgde over etasjen og med berre delvis bruk av TME i kombinasjon med andre bruksfunksjonar. Eit eksempel på dette er om ein har store installasjonar som treng mykje takhøgd, vil det vere mogleg å plassere desse i eine enden av etasjen. Her kan ein lokalt heve takhøgda og tilpasse bruksformålet til rommet over etter dette. Det vil for eksempel vere ein fin kombinasjon med auditorium som vist på Figur 28.



Figur 28: Teknisk etasje med auditorium over

Det å måtte vere avhengig av å ha eit auditorium over dei tekniske installasjonane verkar ikkje veldig tilpassingsvennleg, men det er betre enn å måtte heve takhøgda likt over heile etasjen. Om ein ikkje treng auditorium, vil der vere mange andre moglegheiter for eit slikt bruksområde. Kanskje kan ein lage ein rett vegg og ha lager på toppen av det tekniske rommet. Då kan resterande volum for eksempel vere kantine- eller rekreasjonsområde med dobbel takhøgd. Varierande romvolum i eit bygg kan vere positivt for valet ein får på bruksområder, som igjen kan vere bra for levetida til bygget. Tilpassingsevne kan med andre ord ha fleire faktorar.

Utforming av teknisk mellometasje

Det er fleire måtar å lage ei teknisk mellometasje på. Ein kan, som tidlegare nemnt, la den tekniske etasjen oppa heile etasjen i bygget, eller la den berre oppta deler av etasjen. Sistnemnte krev at etasjehøgda er tilstrekkeleg for bruksetasjedelen som gjer at etasjehøgda på den tekniske etasjen blir høgre enn nødvendig. Erfaring tilseier at ein teknisk mellometasje med høgde på 228 cm er ekstravagant, medan ei høgde på 183 cm er for lite (Verderber & Fine, 2000). Med for lite høgde vil ein ikkje kunne gå oppreist, transportering av ustyr blir vanskelegare og ein får mindre plass til å installere utstyr. Om høgda blir for stor vil det gå utover tyngda til bygget som får følgje for fundamentering samtidig som overflatearealet til bygget blir større. Sistnemnte gjer at varmetapet til bygget aukar og vedlikehaldskostnadane går opp (CO et al., 1990). Vidare er det ein stor fordel å bruke fast dekke på den tekniske mellometasjen framfor ein laus membran (Verderber & Fine, 2000).

Parameter av betyding for installasjonsplass og utstyr	Parameter av betyding for arealdisponering og tilgjengeleghet	Parameter av betyding for utvidingsmogleheter
Netto etasjehøgde (Subsidiært at over- eller underliggende etasje er ein TME)	Moglegheit for frie flater (spennvidde)	Tomteforhold (moglegheit for tilbygg)
Vertikale sjakter / installasjonsplass	Breie kommunikasjonsvegar med bering i korridorvegg	Lastkapasitet beresystem / fundament (moglegheit for påbygg)
Lastkapasitet på dekket	Veggar innvendig (tunge/lette)	
Moglegheit for hol i dekket	Bygningsbreidde (djupne)	
	Arealmengde per etasje	
	Heis / tilgang til heis	
Fleksibilitet og generalitet		Elastisitet

Tabell 1: Byggetekniske parameter for tilpassingsevne (Multiconsult, 2013)

I tabell 1 ser vi byggetekniske parameter som legg til rette for tilpassingsevne. Mange av desse er knytt opp mot bruken av areal/volum. Å bygge større er alltid dyrare, så om ein klarer å utnytte tilgjengeleg volum på best mogleg vis er det å føretrekke. Får ein for eksempel til å legge til rette for fleire bruksfunksjonar i same bygg utan store tekniske endringar, kan ein spare plass og pengar. Dette er tanken med TME. Ein brukar litt ekstra volum for å auke tilpassingsevna til heile bygget. Ikkje alle etasjar treng stor tilgang til teknisk utstyr, men ved å la dei etasjane som treng det få det, vil ein truleg oppnå eit bygg som kan vare lengre. Ein treng ikkje bygge nytt og ei enklare ombygging kan legge til rette for vidare bruk.

Det vil vere fleire måtar ein kan bygge teknisk mellometasje på. Til no er TME ikkje veldig utbreidd og utanfor sjukehus er det nesten ikkje-eksisterande. Det gjer at ein ikkje ser for mange forskjellige byggemetodar, men der er nokon som utpeikar seg meir enn andre. Dei to hovudprinsippa er å bygge den som ei vanleg etasje med søyler i trykk, men med lågare etasjehøgde, og den andre måten er å henge TME frå etasjen over. Det stiller krav til eit sterkare dekke på overliggande etasje, men kan vere eit godt alternativ. Ei slik løysing i kombinasjon med superetasjar er omtala i neste kapittel.

Opphengde etasjar i TME

I prosjektoppgåva vart det diskutert med gruppe 3 å lage ein skyskrapar med diagrid og superetasjar. Sjå Figur 29. Dette for å kunne endre det interne rom etter ønskje og skape grøntareal i atrium som slynga seg oppetter bygget. Store fagverkskonstruksjonar vart brukt med jamne mellomrom og etasjane mellom vart tatt opp med vanleg bruk av søyler og bjelkar. Det vart så vidt diskutert å heller ta i bruk opphengde etasjar med strekkstag frå superetasje-fagverket. Ein vil med dette unngå visse konstruksjonsmessige utfordringar som knekking, i tillegg tar strekkstag betydeleg mindre plass. Det er denne idéen som vekker interesse for vidare arbeid. Ved å kombinere alt dette; diagrid, superetasjar og TME i strekk, vil ein potensielt legge til rette for god tilpassingsevne.

For å sjå på forskjellen mellom strekkstag og søyle er det rekna eit eksempel med bruk av gjennomsnittleg lastkapasitet og senteravstand basert på prosjektbeskriving og dokumentteikningar på tre norske sjukehus. Sjå tabell 2. Innvendig senteravstand er sett til 7 meter, brutto etasjehøgde 4 meter og lastkapasitet på 4 kN/m^2 for etasjeskiljarar og 2 kN/m^2 for TME. I tillegg kjem eigenvekta av betongdekket på $2,6 \text{ kN/m}^2$ for 200 mm høgt holdekkelement (Alexander & Vinje, 2010). I realiteten blir dekket mest truleg utført som plassstøpt, men i denne samanlikninga har det lita betydning. Ein modell som viser utgangspunkt for samanlikninga er å sjå på Figur 30. Kvart knutepunkt får eit lastareal på $7 \times 7 = 49 \text{ m}^2$ i tillegg til punktlastene frå etasjane rundt.

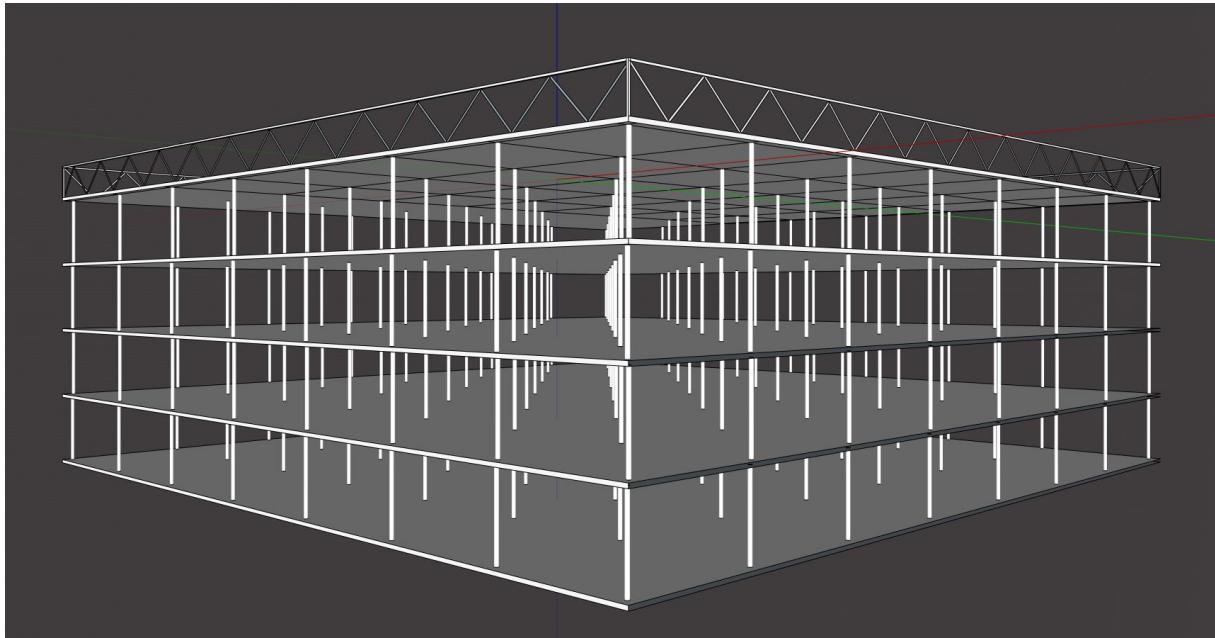


Figur 29: Gruppe 3 sitt bygg

Parametere	Rikshospitalet	Ahus	St. Olavs Hospital
Brutto etasjehøyde	Bruttoetasjehøyde: Kulvert U 5 m Avsnitt D: E1 Poliklinikk 3 m og TME 2,7 m Avsnitt C, E1 5,7 m Avsnitt C og D, E2 3,6 m Avsnitt C og D, E3 3,6 m Avsnitt C og D, E4 4,4 m	Gjennomgående for alle etasjer i anlegget: 4,3 m	Bruttoetasjehøyde NB: Gjelder sentre fra BF2: Underetasje 4,5 m E1 Poliklinikk 5,2 m E2 Behandling og operasjon 3,8 m TME 3,8 m E4 og E5 3,8 m E6 4,7 m
Netto-himlingshøyde	Generelt høyder: Romhøyder: 2,7 m Korridorer: 2,5 m	Gjennomgående for alle etasjer i anlegget: 2,9 m	Underetasje 2,6 m Poliklinikk 3 m Operasjons 3,1 m Laboratorier 3,6 m Korridorer 2,4 m
Senteravstand	Innvending: c/c 6-7 m Fasade: c/c 2,4-2,8 m	Behandlings-bygningen Innvending c/c 7,2 m Fasade 3,6 m Sengebygningen og BUK: Innvending og fasade c/c 8,4 m	Innvendig c/c 7,2 m
Lastkapasitet	Etasjeskillere 4 kN/m^2 TME 2 kN/m^2 Bibliotek 6 kN/m^2 Kompaktarkiv $12,5 \text{ kN/m}^2$ Adkomsttorg 10 kN/m^2	Behandlings-bygningen 4 kN/m^2 Øvrige bygg 3 kN/m^2	Mellom $4-5 \text{ kN/m}^2$
Mulighet for hulltaking i dekke	Hulldekke elementer generelt, må ta hensyn til plassering av nye hull. TME har nedhengte, tynne dekkeelementer	Mulighet for hulltaking i dekke er ivaretatt	Mulighet for hulltaking i dekke er ivaretatt

Tabell 2: Byggetekniske eigenskapar på tre norske sjukehus (Letting, 2013)

Utrekningar, sjå vedlegg 3, viser at ein kan bruke strekkstag med dimensjon på 100 mm. Dette er ein reduksjon på 300 mm kontra bruk av betongsøyler med dimensjon på 400 mm. Ein får ein stor reduksjon i opptatt areal som ein kan bruke til anna formål. Så tynne strekkstag vil både vere lettare å skjule samtidig som dei ikkje er eit like stort visuelt hinder om dei er framme i rommet. Det er med på å gjere det mogleg å bruke fleire knutepunkt og få laga ein slankare opphengsbjelke. Viss strekkstaga ikkje oppfattast som dei er i vegen, er det ikkje eit problem at dei er der. Ei fire gongar så stor søyle vil mest sannsynleg ikkje bli oppfatta på same måte.



Figur 30: Modell som viser utgangspunkt for samanlikning av strekkstag og søyle

Lasta på kvar superetasje blir lik med bruk av strekkstag eller søyler, men forskuva oppover ved bruk av strekkstag. I staden for at superetasjen på toppen ikkje føler anna enn snø- og eigenlast, vil den no føle like stor påkjenning som resten av superetasjane i tillegg til snølast. Dette fordi første etasje får mindre belasting då den ikkje får trykksøyler ned på seg. Vidare gir dette ei moglegheit til å få ei søylefri førsteetasje som kan vere veldig flott. I tillegg vil ein i begge tilfella få ei stag- eller søylefri etasje for kvar superetasjar som er omtalt i neste kapittel.

For seismisk aktivitet er det derimot mindre gunstig med ei slik løysing då ein får flytta massen til bygget høgre opp. Det er likevel ikkje sikkert at dette vil ha stor betydning. Superetasjane vil fungere som tekniske mellometasjar med god plass for installasjonar og nok takhøgde for lett tilkomst. Det er også mogleg å gjere som tidlegare nemnt, å utvide den tekniske mellometasjen i høgda i tilfelle ein treng meir plass for større installasjonar. Det vil derimot gi ei ugunstig form på etasjen over TME, men om dette kan kombinerast med for eksempel auditorium, vil utnyttinga bli mykje betre.

Opne etasjar

Ei moglegheit som opnar seg ved bruk av diagrid og superetasjar er å sjå på ein variasjon av søyler og strekkstag for TME. Ved bruk av superetasjar vil ein for ei etasje få eit søyle- eller stagfritt interiør. Det blir ikkje nødvendig å overføre krefter gjennom alle etasjane då det for gitte avstandar der superetasjane blir satt inn, vil bli overført krefter til diagrid og kjerne. Med bruk av søyler vil det for etasjen under superetasjen bli eit søylefritt interiør, og med strekkstag vil første etasje over superetasjen blir stagfri. Dette kan utnyttast på fleire måtar. For det første kan det vere veldig kjekt med ein heilt open første etasje. For det andre er det mogleg å la toppetasjen vere heilt open, som kan gi betre inntening av leigeinntekter, då den kanskje blir meir eksklusiv enn i mange andre bygg.

Vidare er det mogleg, men kanskje ikkje så lurt, å la den tekniske mellometasjen bli heilt open ved å bere den med søyler samtidig som ein har superetasjen rett over. Altså ikkje plassere TME i superetasjen. Då vil ein enten la superetasjen stå tom, eller å la høge tekniske installasjonar stikke opp i denne. Det ein oppnår er ei hinderfrei planløysing som ein kan bevege seg fritt på. Om ein bruker superetasjen som TME vil ein potensielt måtte krype gjennom fagverket og kanskje vil det gi eit hinder for kva installasjonar ein får installert og flytta på. Det som derimot kan vere eit resultat av dette er at TME og superetasjefagverket blir like høgt som etasjane elles. Då vil det visuelle intrykket av bygget bli ivaretatt som likt over heile høgda, noko arkitektane mest sannsynleg ønskjer.

3for2

I Singapore skal det i 2015 stå klart eit bygg som forhåpentlegvis skal vere med å revolusjonere dagens byggutforming. 3for2 er eit konsept om å bygge tre etasjar på same plass som du treng for å bygge to med dagens byggemetode utan at det går utover himlingshøgda. Sjå Figur 31. Det skal bidra til å senke byggekostnadene betrakteleg i tillegg til å gi eit meir energieffektivt bygg. I dag går mykje plass og energi med til korrekt ventilasjon. I følgje Arno Schlueter, prosjektleiar og leiar for arkitektur og berekraftig byggeteknologi i Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich, er dagens luftkondisjoneringsanlegg svært ineffektive. For å forsikre seg om at luftfuktigheita er på behagelige 60% når lufta går inn i rommet, må den kjølast ned til 6°C. Rommet må så varmest opp til 20°C for å få korrekt inneklima. Lufta må også frakta til og frå romma. Dette krev mykje plass og så mykje som ein tredjedel av eit bygg sitt interne volum kan gå med til dette (Shah, 2014).



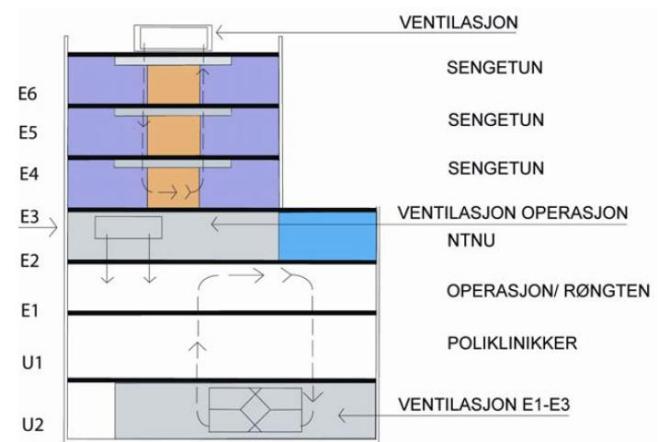
Figur 31: 3for2-konseptet (Laboratory, 2014)

Som eit resultat av dette konseptet vil ein redusere energiforbruket med opp til 40%. Dette skal ein få til ved å separere kjøle- og avfuktingsfunksjon av eit konvensjonelt klimaanlegg. Ein vil då få redusert mengda av luft som må kjølast ned til 6°C med 40%. Kjøling av rommet blir gjort gjennom radiatorar i taket. Vatnet i desse treng berre å bli kjølt til 18°C som er mykje meir energieffektiv enn eit vanleg system. Vindauga vil bli tilta innover i underkant for å redusere solinnstråling. Dette vil vere med på å redusere behovet for kjøling, som igjen reduserer energiforbruket. Personane bak prosjektet håpar at dette kan bli ein katalysator for vidare forsking på feltet. Sjølv meiner dei at eit 50 etasjes hus i Singapore med dette konseptet kan spare 60 cm golv-til-golv-høgde, redusere konstruksjonskostnadene med ein tredjedel og gi ein ekstra leigeinntekt på 1,85 millionar NOK (Shah, 2014).

I Norge kan radiatorane også bli brukt til oppvarming, noko som gjer dette til eit system som ikkje berre kan bli brukt i varme strøk. Dag Otterstad, sjef for byggeteknikk i Siemens Norge, uttaler til Teknisk Ukeblad at vi aldri vil ha det same kjølebehovet i Norge som i Singapore, men at det likevel kan vere nyttig også i kaldare land. Spesielt i byar med avgrensa areal vil det alltid vere lurt å sjå på løysingar som maksimerer arealbruken. Han snakkar også om eit stort energisparepotensial i løysinga som brukast i bygget og viser til deira integrering av lyskontroll, persiennstyring og varme/kjøle-anlegg. Det meiner Otterstad gir ein optimal energibruk og noko ein absolutt kan dra nytte av i Norge (Olsen & Garathun, 2015).

Om ein ser for seg ei slik løysing i kombinasjon med teknisk mellometasje, vil ein fort hente inn den ekstra høgda ein får lagt til på grunn av TME. Det er også positivt med lågare golv-til-golv-høgde om ein skal sette inn TME i bygget. TME treng oftast ei lågare etasjehøgde og dette vil sette sitt preg på utsjånden til bygget om etasjene ikkje er like høge. Om ein brukar 3for2-konseptet vil ein truleg kunne seie at det er greitt å bruke ei vanleg etasje for TME, då den ikkje blir så alt for mykje høgare enn ei nødvendig høgde på TME. Då tek ein i vare bygget sitt design og får alle fordelane med ei teknisk mellometasje. Spørsmålet blir berre om desse systema er kompatible i lag, noko som mest truleg ikkje er eit problem. Dette baserer seg på om 3for2-prosjektet viser seg å bli ein suksess og oppnår ønska kvalitetar.

Ved å legge TME inn i ei vanleg etasje vil ein samtidig få moglegheita til å dele etasjen opp i seksjonar. Kanskje har ein ikkje behov for teknisk mellometasje i tilknyting til heile den underliggende etasjen. Då har ein eit alternativ i å sette av nok plass til TME på deler av etasjen, for så å bruke resterande plass til vanlege bruksfunksjonar. Dette er for eksempel gjort på St. Olav Sjukehus i Trondheim. Sjå Figur 32. Her bruker ein mesteparten av tredje etasje til å forsyne underliggende operasjons- og røntgenrom med ventilasjon og teknisk utstyr. Resterande blir nytta av NTNU i undervisningssamanheng.

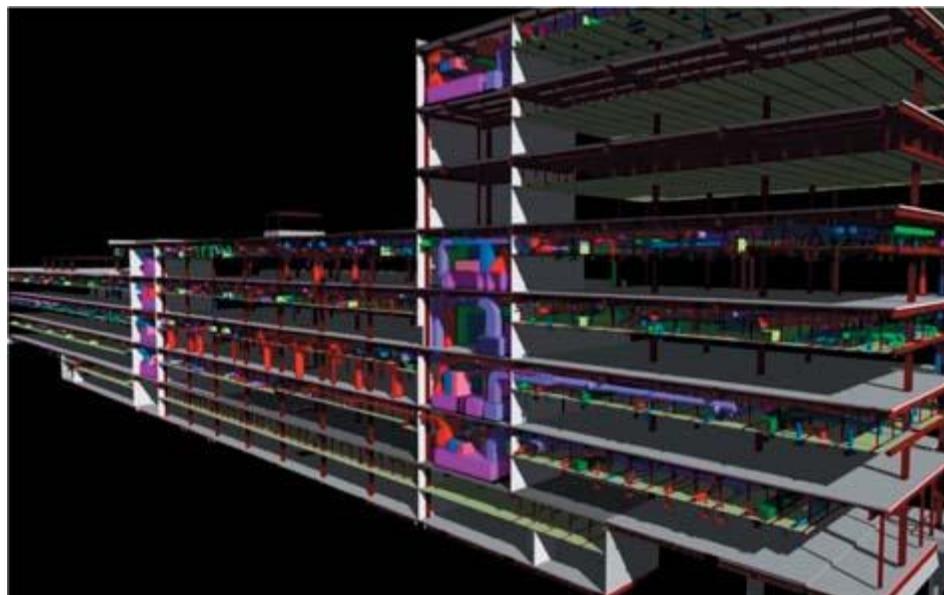


Figur 32: Prinsipielt snitt VVS tekniske rom (ANS, 2005)

Når ein vel ei slik løysing må ein samtidig tenke igjennom endringspotensialet til bygget. Vel ein å berre legge TME over visse deler av eit rom, låser ein bygget i mykje større grad enn om ein har TME over heile etasjen. Då står ein mykje friare til å flytte rundt på romma, og dei spesifikke funksjonane treng ikkje ligge på same plass kvar gong. Det opnar opp for at ein kan starte bygginga av eit nytt operasjonsrom ein annan plass i bygget samtidig som det eksisterande er i drift. I tillegg gjer TME det mogleg å oppretthalde drifta i rommet som skal byggast om lenger, slik at ein får maksimert oppetid. Dette er spesielt viktig på eit sjukehus i motsetning til dei fleste andre institusjonar og bedrifter. Eit sjukehus måler ikkje resultat opp mot kor mykje pengar dei har tent, men kor mange pasientar dei har lega. Derfor vil driftstid i bygget vere viktig. Om ein klarer å halde i drift flest mogleg rom til ei kvar tid kan det gjere at ein slepp å bygge nybygg for å ta hand om endra etterspørsel. Den mindre investeringa det då var å bygge TME kan fort vise seg å vere tilbakebetalt opp til fleire gongar.

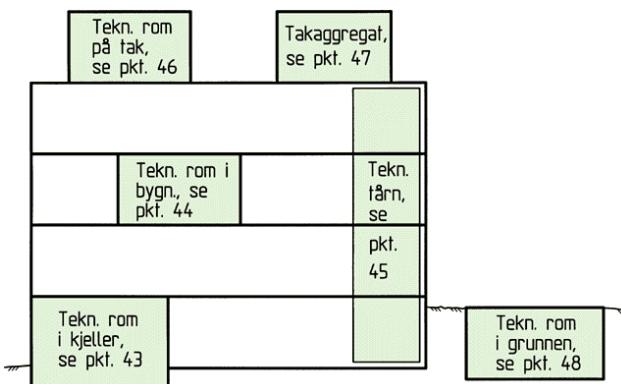
Teknisk mellometasje og tårn

Tekniske installasjonar i eit bygg er plasskrevjande og komplekse. Dei opptar mykje areal og strekk seg langt. I tillegg til å kombinere TME med andre bruksfunksjonar på same etasje er det også mogleg å kombinere TME med teknisk tårn. Det kan vere med på å redusere behovet for TME då mykje av det tekniske utstyret blir plassert i TT, som ein kan sjå frå Figur 33.



Figur 33: Modell av tekniske installasjonar på San Antonio Military Medical (Peck, 2010)

Teknisk tårn er rom som er plassert overfor kvarandre som forsyner sin respektive etasje. Sjå Figur 34. Det må ligge ut mot fasade for å enkelt gi tilgang til sjakter for luftinnntak og luftavkast. TT legg opp til å bruke fleire små aggregat og fordelingselement, men vil samtidig redusere føringslengda. Dette er spesielt bra for trykkfallet i ventilasjonsrør som kan bli betydeleg over lange strekk. I kombinasjon med teknisk tårn vil tekniske mellometasjar auke fleksibiliteten til systemet og truleg utnytte fleire fordelar. Høgda på TME kan bli redusert til ståhøgde fordi dei store installasjonane blir å finne i teknisk tårn.



Figur 34: Oversikt over tekniske rom (Haugen & Mysen, 2001)

IV

Opne rom

I mange bygg i dag etterstrever arkitekt å få store opne rom. Dette inneber søylefrie interiør og store spenn. For konstruksjonen fører dette til auka dimensjonar og pålydande dyrare prosjekt. Likevel kan store opne rom gi moglegheiter seinare i levetida til bygget og legge til rette for eit meir tilpassingsvennleg bygg. Dei auka byggekostnadane kan dermed tilbakebetalast ved ei ombygging seinare ved at ein slepp riving av berande konstruksjonar.

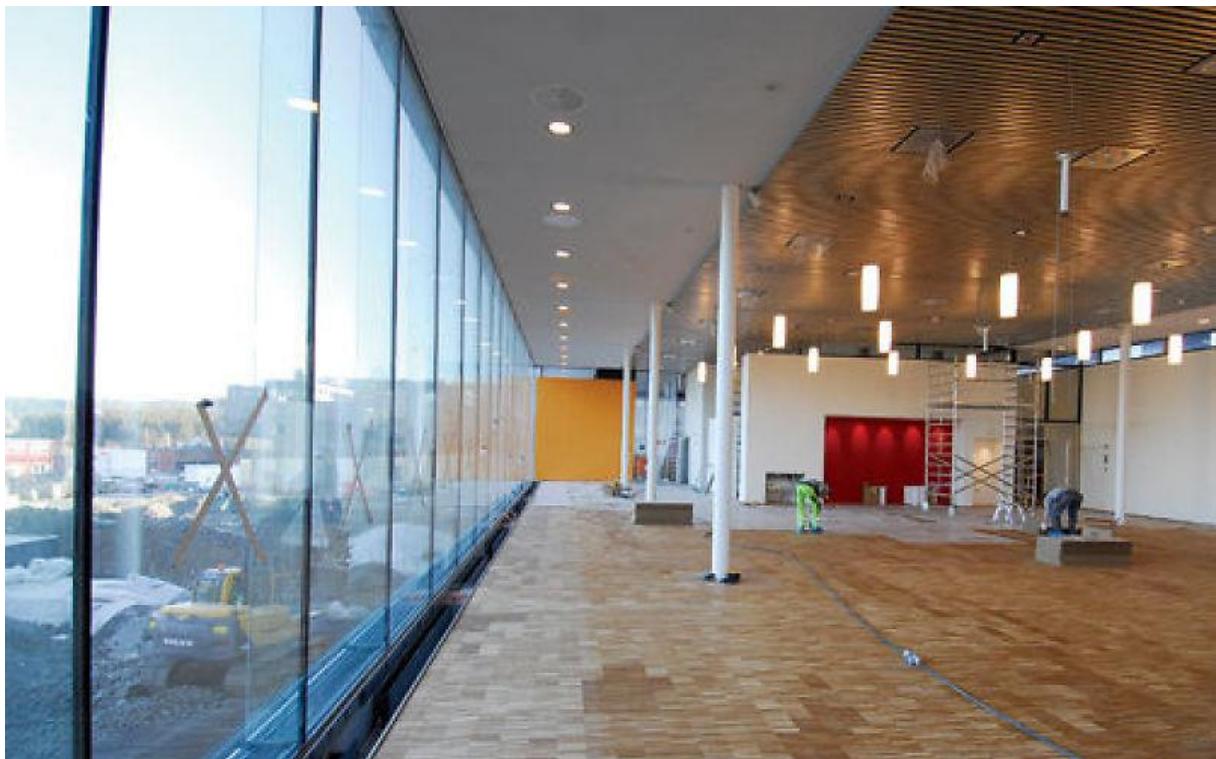
Få interne søyler må sjåast i samanheng med vertikal bering i bygget. Ved å fjerne ei søyle må kreftene denne skulle tatt opp takast av andre element. I tillegg vil ein også kunne sjå at bygget blir mindre stabilt ved færre knutepunkt. Når dette er sagt treng ikkje det å fjerne ei søyle bety å redusere talet på søyler totalt. Det kan vere mogleg å berre flytte denne søyla. Kvar ein flyttar søyla vil vere med å bestemme kva type beresystem ein får.

Av og til vil det vere alt for dyrt å ta vekk eller omplassere søylene midt i eit rom. Dette kan vere på grunn av allereie store spenn, store punktlaster rett over søylene eller krav til etasjehøgde. Dermed må ein tenke annleis om ein vil skape opne rom. Permanenten i Bergen er eit museum som har laga eit opne rom, men med fire interne søyler. Her har likevel arkitekten valt å ikkje la desse vere kvite og forsøkt å la dei forsvinne ut av synet, men malt dei svarte. Sjå Figur 35. Dette gjer at dei inngår som ein del av fargespelet i rommet og framstår som designelement. Dei er nokså synlege, men ikkje utprega i vegen. Likevel hadde nok arkitekten helst sett at søylene ikkje var der, for å skape eit meir fritt rom.



Figur 35: Permanenten (Fosse, 2013)

Vidare kan ein diskutere etasjehøgde opp mot interne søyler. Om ein ønskjer færre søyler stiller det ofte krav til høgre bjelkehøgde i spennet over der søyla skulle stått. Dette gjer at himlingen blir lågare og må mogleg bli kompensert for med auka etasjehøgd. Interne søyler kan gi eit meir innestengt og låst rom. Tilpassingsevna gjennom levetida til bygget kan gå ned og bruksområda bli avgrensa. Eit visuelt eksempel på dette kan sjåast på Figur 36 frå Akershus universitetssjukehus. Her har ein valt å ikkje ta bering i fasaden, men med søyler internt. Dette er vanleg og ofte ei god løysing. Ein får ei glasfasade som er kontinuerleg og byggeteknisk er det ofte ei lettare løysing. Likevel går det på kostnad av det opne rom, men det blir ei avveging opp mot mindre vindaugeareal. Her er fleire løysingar som kan nyttast, som utkraga etasjar, men dette er ofte mykje dyrare og meir plasskrevjande.



Figur 36: Ahus (Bygg.no, 2008)

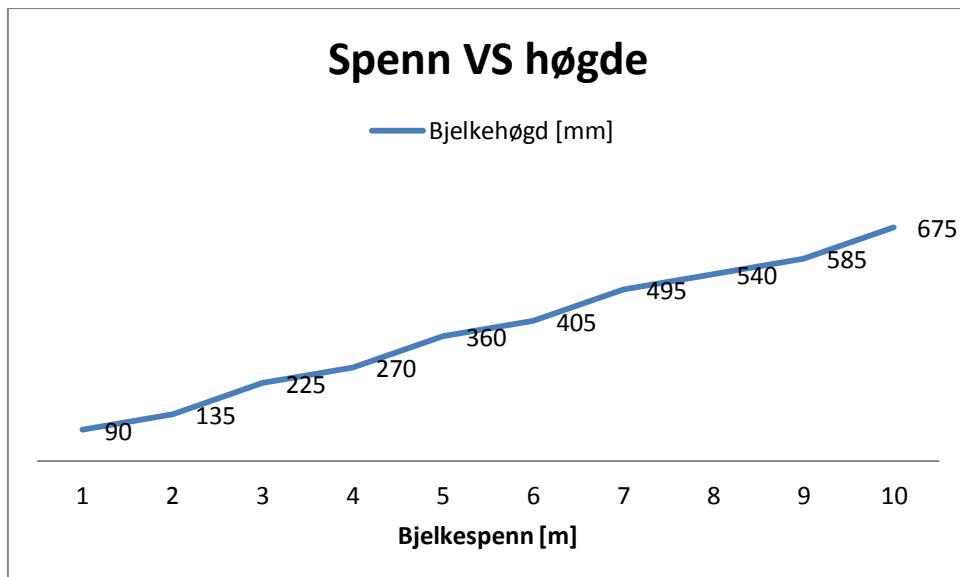
Det er vanskeleg å gjere noko med naturkraftene. Desse er nokre av dei største utfordringane med prosjektering av bygg. Alt må vurderast opp mot risiko. Dette blir tatt hand om gjennom sikkerheitsfaktorar både på materialet ein brukar og på lasta som blir påført bygget. Ein får fort store dimensjonar på berekonstruksjonen og ei av løysingane for å få desse til å sjå mindre ut er rett å slett å gjere dei mindre. Dei forskjellige måtane ein kan gjere det på er enten å endre materialtypen til ein sterkare ein, eller å auke mengda bereande element. Sistnemnde er i strid med idéen om opne rom, men den gjer samtidig at dei elementa som står der ikkje opptrer like store.

Analyse av interne spenn

Om ein ikkje er byggingeniør, arkitekt eller generelt opptatt av konstruksjon er det lite sannsyn for at ein liker beresystem. Mange synest dette er meir i vegen enn av praktisk nytte. Ein kan ikkje oppheve dei fysiske tilstandane på jorda, og oftast må ein ta til takke med litt hindringar i rommet. Likevel kan det med dette, som med så mykje anna, betalast for å få det slik ein vil. Det vil derfor no bli gjort ei analyse på kva som skjer med beresystemet i eit bygg om ein omplasserer søyler.

Eksempelet legg til grunn ei etasje i eit bygg som har jamt fordelt nyttelast som blir overført via bjelkar og søyler. Desse elementa vil få endra lastsituasjon alt etter spennet på bjelken. Det vil derfor bli gjort analysar for å finne ut om dimensjonen på bjelken stig lineært eller ikkje med lengda på spennet og lastarealet. Dimensjonen på søyla vil så klart auke i takt med auka last, men det er dimensjonen på bjelken som er av hovudinteresse og som vil bli rekna på no. Ei søyle får raskt auka areal om ein aukar radien, og det gjer at ein også raskt får auka kapasitet. Dermed er det bjelken som er av hovudinteresse. Først vil det bli sett på kva som skjer viss ein berre endrar lengda mellom søylene i ei retning og beheld avstanden elles i rutenettet. I det andre tilfellet vil rutenettet utvide seg likt i begge retningar.

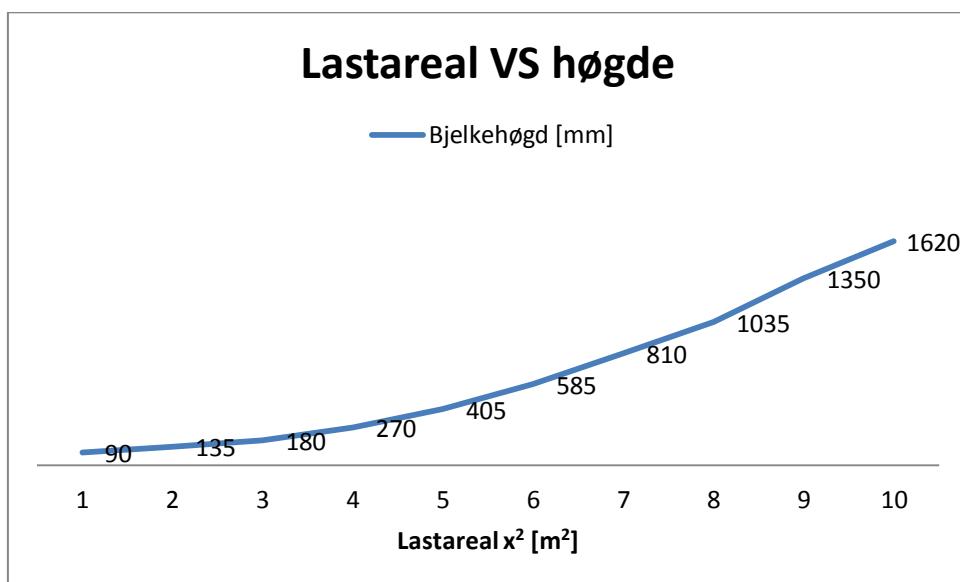
I den første analysen blir det brukt limtre med lastbreidde på 4 meter. Sjå vedlegg 4. Bjelkebreidda blir halden konstant på 215mm for å sjå kva som skjer med bjelkehøgda når ein endrar spennet. Resultatet kan sjåast på Figur 37 og viser ei lineær auke i bjelkehøgd med aukande spenn.



Figur 37: Bjelkespenn for tre

Sjølv om spennet tidoblast blir ikkje bjelkehøgda tidobra. Dette kjem av at materialhøgda verkar med ein faktor opphøgd i fire på 2.gradsmomentet og gir eit kraftig bidrag til momentkapasitet. Momentlast aukar med spennet opphøgd i andre og stig ikkje like fort. Det som derimot vart dimensjonerande i alle tilfelle var skjærkapasiteten. Limtreeet har ein bøyefastheit på i overkant av 20 MPa og ein skjærfastheit på ca 2 Mpa. I skjærkapasitet er det berre materialmengda som har noko å seie på motstanden. Derfor tel breidda like mykje som høgda på bjelken. På grunn av dette vart breidda låst til 215 mm for å enklare kunne samanlikne resultata, men også fordi det gir eit betre tilfelle for skjærkapasiteten. Alternativet var å justere både breidde og høgde på bjelken etter kvart som ein trengte det, men då har ein ikkje eit like eintydig samanlikningsgrunnlag.

I neste analyse blir det sett på lastarealet. Då aukar spennet likt i begge retningar. I forskjell frå førre analyse vart det i starten nedbøyingskrav som vart dimensjonerande. Dette varte fram til $5 \times 5 \text{ m}^2$ før skjærkapasitet tok over. Hadde ein auka dimensjonen i breidda på bjelken hadde ein fort kunne sett eit anna utfall, men valt dimensjon er brukt for å ikkje ha eit for rart forhold i starten av analysen med $1 \times 1 \text{ m}^2$. Etter kvart som lastarealet auka på, vart det så pass store laster at dimensjonen på bjelken vart veldig høg. Ein får ikkje levert slike dimensjonar som standard frå leverandør. Då er det mykje meir vanleg å bruke fagverksbjelkar i limtre. Likevel vart det køyrt ein analyse opp til $10 \times 10 \text{ m}^2$ for å sjå kva som skjer med dimensjonen. Resultatet er vist på Figur 38 og ein ser her ei kurve som veks meir eksponentielt framfor lineært. Utrekninga for første tilfelle, $1 \times 1 \text{ m}^2$, er å finne i vedlegg 5.



Figur 38: Lastareal for tre

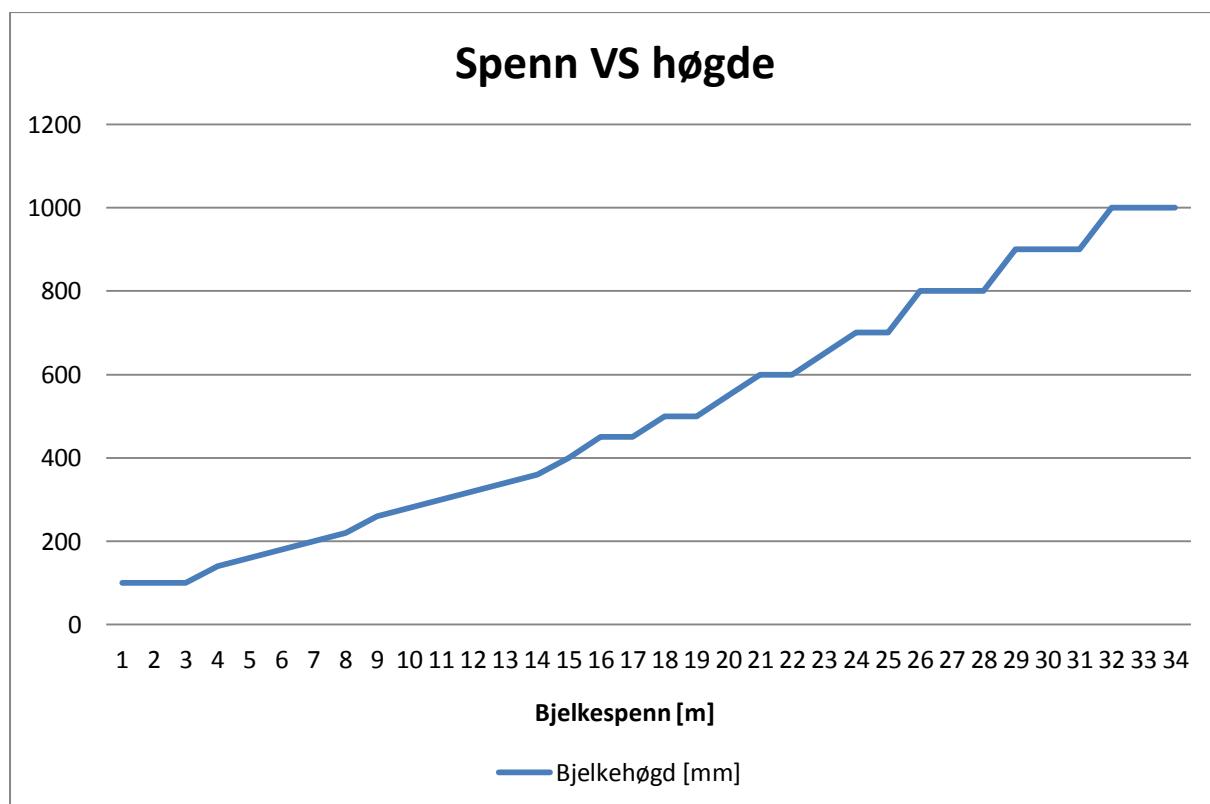
Om ein samanliknar dei to kurvene i Figur 37 og Figur 38, ser ein at dimensjonen i starten er heilt lik sjølv om lastarealet er mykje mindre på sistnemnde. Dette fordi materialeigenskapane er nokså forskjellige for konstruksjonstre og limtre, i tillegg til at det i det første tilfellet vart skjærkapasiteten som vart dimensjonerande, medan det i det andre tilfellet vart nedbøyingskrav. I realiteten kan det også godt hende at den totale nedbøyingen for det første tilfelle ikkje viser stor nok nedbøyning. Formelen som er brukt er for ein fritt opplagt bjelke med jamt fordelt last. Nedbøyingen totalt blir ein sum av nedbøyning i bjelkeretninga pluss nedbøyning tvers på. Altså blir den største nedbøyingen størst midt mellom to bjelkar. Då det ikkje er bestemt kva dekke ein får oppå bjelkane, vart det bestemt å ikkje rekne på den faktiske nedbøyinga eksakt. Det blir kompensert for ved at nedbøyingsformelen ikkje stemmer heilt for dette tilfellet. I utrekninga for moment og skjær er det lagt til grunn ein trefeltsbjelke. Denne vil ha litt mindre nedbøyning i feltmidten i forhold til ein fritt opplagt bjelke. Totalen blir derfor mindre og forventinga kan sjåast på som god nok.

For det andre tilfelle vart det gjort den tilnærminga å seie at nedbøyninga er to gongar den for ein fritt opplagt bjelke. Det blir i realiteten for mykje sidan ein også her har ein trefeltsbjelke. Hadde desse formlane vore korrekte, kunne ein sett eit anna nedbøyingsmønster og gjort andre forhold dimensjonerande.

Om ein studerer dimensjonane mot slutten av begge kurvene er desse veldig forskjellige. Det er ikkje så rart sidan den prosentvise auken i lastarealet er betydeleg større for det siste tilfellet. Aukar ein frå $9 \times 9 \text{ m}^2$ til $10 \times 10 \text{ m}^2$ blir lastarealet 23% større medan det frå $9 \times 4 \text{ m}^2$ til $10 \times 4 \text{ m}^2$ berre aukar med 11%.

Om ein ser på eit konkret eksempel for kvart tilfelle vil ein finne ein samanheng mellom ekstra etasjehøgde og spenn. For første tilfelle vil ein ved å gå frå 5 meter spenn til 10 meter auke etasjehøgda med 315 mm. For det andre tilfelle vil ei auke frå $5 \times 5 \text{ m}^2$ til $10 \times 10 \text{ m}^2$ auke etasjehøgda med 1215 mm. I første tilfelle treng ein ikkje doble bjelkehøgda for å doble spennet, men i siste tilfelle vil ein måtte firedoble bjelkehøgda. Det blir altså betydeleg forskjell for kva løysing ein går for.

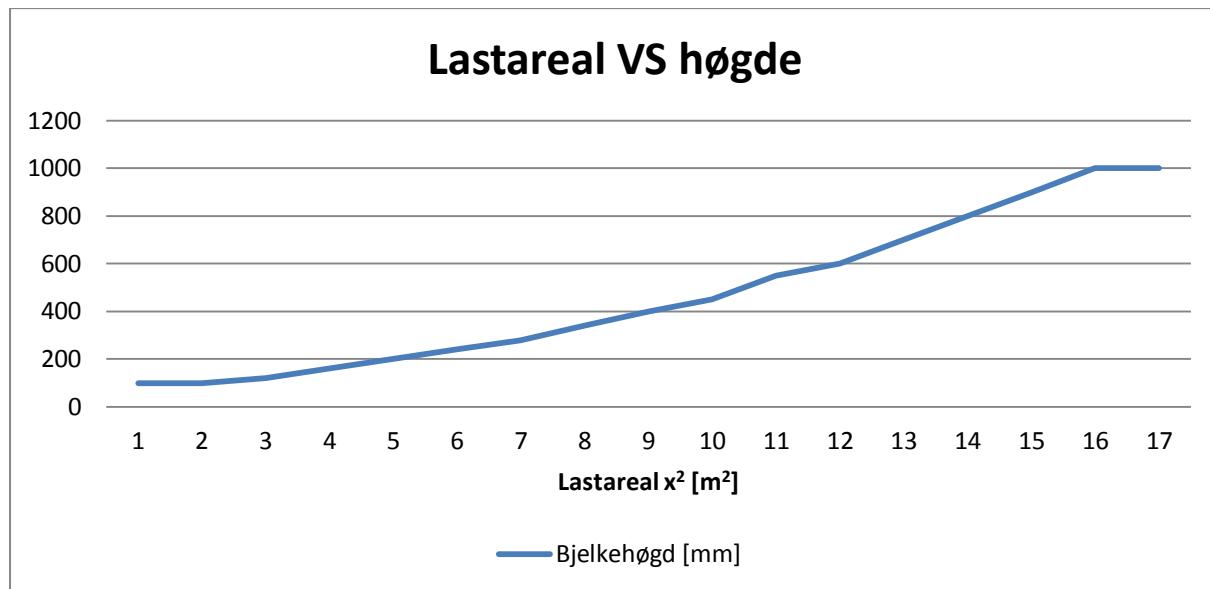
For å sjå på om materialetypen har stor innverknad på korleis kurvene opptrer, vil det no bli rekna same tilfella i stål. Her er utvalet av bjelkar litt annleis. I tre reknar ein 2.gradsmoment med rektangulære tverrsnitt. I stål er det gjerne valsa profil med gitte eigenskapar. Desse blir henta fra heftet Stålkonstruksjoner - Profiler og formler (2003) og i staden for å sjå på kva høgde som er nødvendig, vil det bli valt den profilen som ser ut til å stemme best med lastsituasjonen.



Figur 39: Bjelkespenn for stål

For analysen med bjelkespenn i stål, sjå vedlegg 6, vart det nytta HEB-bjelkar med standarddimensjonar. Det ga eit resultat som i form er nokså lik den for tre. Sjå Figur 39. Den store forskjellen som ein raskt legg merke til, er kor mykje lenger ein kan spenne med ein stålbjelke framfor ein trebjelke. No vart det ikkje rekna på ein trebjelke med ein meters høgdetverrsnitt, men om ein samanliknar spennet for lik dimensjon er det framleis forskjellar. Stålbjelken kan spenne 23 meter for ein bjelke med høgde 650 mm mot 10 meter for ca. like høg trebjelke. Dette kjem av fleire grunnar. Materialstyrken til stål er mykje høgare enn for tre. I tillegg er utforminga av tverrsnittet meir optimal på ein stålbjelke.

Ser vi på lastarealet for stål viser det antyding til ein meir eksponentiell vekst slik som for tre, men er ikkje like eintydig. Sjå Figur 40 og utrekninga som ligg som vedlegg 7. Ein ser frå grafen at det er mogleg å spenne opptil 17x17 meter med ein standarddimensjon på ein HEB-bjelke. Dette er nokså mykje meir enn det vi ser for tre, som i tillegg treng ein mykje høgare tverrsnittsdimensjon for å spenne 10x10 meter. Dette har som tidlegare nemnt mykje å gjere med materialstyrken. Blir etasjehøgda av stor betydning er det derfor lønsamt å gå for ei løysing i stål framfor tre. Det negative aspektet med dette er blant anna pris og vekt.



Figur 40: Lastareal for stål

Desse analysane er berre rettleiande og ikkje fullstendige. Derfor vil ein ved ei djupare analyse kunne finne resultat som avviker mykje frå desse tala. Det er likevel konklusjonar å trekke frå funna, som tidlegare gjort, men på grunn av forenklingar i utrekningane kan resultatet vere misvisande.

Sendai Mediatheque

For å betrakte Sendai Mediatheque litt nærmere vil ein fort sjå at bygget er veldig transparent. Bygget framstår som det ikkje har nokon tette flater og nokon av det som er spesielt for dette bygget er korleis arkitekten har planlagt at nokon etasjar kan ha tett fasade, medan dei fleste andre har glasfasade. Sjå Figur 41. Det gir bygget ein veldig original utsjånad som settast spesielt i fokus med varierande farga belysning. Internt er der ikkje ein einaste berande vegg og dei som dekker til «tubane» er også i glas.

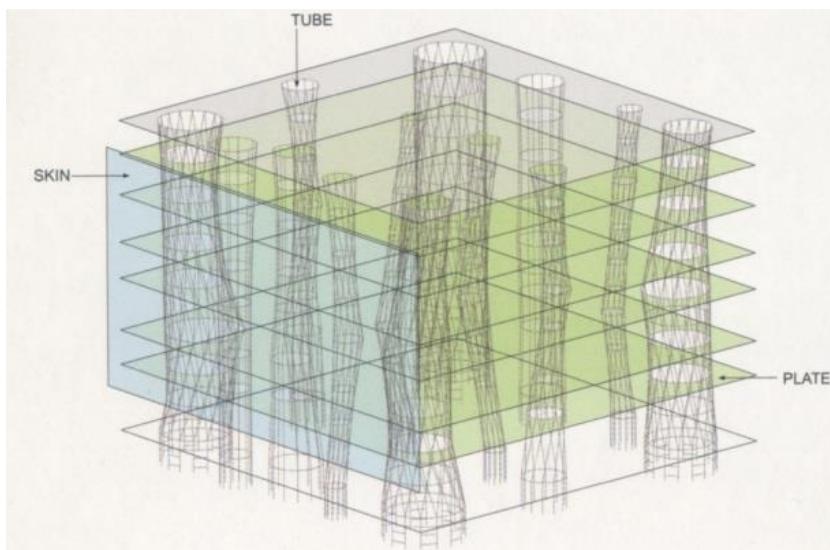


Figur 41: Sendai Mediatheque (Seifert, 2012)

Konstruksjonen er veldig utradisjonell og oppbygginga er unik. I staden for å bygge opp bygget rundt ei eller fleire kjernar er tanken å samle alt av bering i tubar. Dei blir gjort så store at dei kan romme det som trengst av vertikal infrastruktur. Her blir heiser, trapper og rør plassert og tubane varierer i størrelse alt etter behovet. Det skaper både eit arkitektonisk sær preg og mest mogleg ope areal. Ein annan fordel er at tubane blir romlege og gir bygget mykje større stivheit kontra bruken av ordinære søyler. Den stivheita ein misser ved å fjerne betongkjernen tar ein igjen ved å la tubane samvirke gjennom heile planet. Dei blir plassert i eit visst mønster og så pass fordelt gjennom bygget slik at ein oppnår tilstrekkeleg stivheit.

Bygget i seg sjølv er bra størrelse på, men er ikkje så stort. Det er nok ein av grunnane til at arkitekten har sett moglegheita for å lage ein så pass utradisjonell berekonstruksjon. Sjå Figur 42. Gjer ein eit enklare reknestykke på lastsituasjonen, sjå vedlegg 8, vil ein finne ut at det kunne vore tilstrekkeleg med vertikal bering å berre bruke 660 mm betongsøyler. Då er det tenkt eit rutenett av søyler med lastareal på 100 m^2 . Bygget ser ut til å vere 50×50 meter som vil seie 25 søyler. Om det var tilfelle må ein finne ei anna løysing for stivheita i bygget. For eksempel bruke stålkryss.

Det er som ein skjønner ei nokså kompleks løysing som er valt her. Den er nytenkande, men ein vil mest sannsynleg ikkje få sjå så mange andre bygg av same sort i framtida. Dette mykje på grunn av systemet ikkje er veldig tilpassingsvenleg og mest truleg mindre gunstig økonomisk sett. Ei slik oppbygging krev numeriske analysar og spesiallaga modular. Ein ser i mange tilfelle at dess meir krevjande detaljar og spesiarbeid desto meir tid og pengar går med. Om ein i tillegg ser tilbake på Figur 16 som viser dei forskjellige kjerneløysingane og moglege inndelingar for eit tal leitetakrar, vil ein fort innsjå at løysinga til Sendai Mediatheque ikkje er optimal. Planløysingane er nokså låste og det er nesten eit krav at kvar etasje hører til berre ein eller maksimalt to leitetakrar. Dette fordi all infrastruktur i bygget er veldig separert. Trapp i eine hjørnet og heis i den andre, i tillegg til rør og kablar på ein heilt annan plass kan gjer det vanskeleg å legge til rette for fleire forskjellige brukarar. I tilfelle for dagens bruk er det nok mindre farleg då heile bygget er offentleg eigedom og tiltenkt hovudsakleg som bibliotek og mediatek (Sveiven, 2013).



'Domino' construction system of Sendai Mediatheque.
It consists of three elements: plate, tube and skin.

Figur 42: Konstruksjon Sendai Mediatheque (McKittrick, 2010)

Golvet er 40 cm tjukt (Sveiven, 2013) og hadde mest sannsynleg ikkje trengt å vere like tjukt over alt, men er satt lik for kvar etasje på grunn av det visuelle preget. Betonggolvet kan sjåast utanfrå, i likskap med Educatorium i Utrecht, og då spelar golvhøgda like stor betydning arkitektonisk som konstruktivt. Ei interessant samanlikning hadde vore om ei vanleg oppbygging av betongsøyler hadde gitt tynnare eller tjukkare golvhøgde. Det raske svaret på det er nok avhengig av talet på oppleggspunkt. I dag er det berre 13 tubar (Sveiven, 2013) og ved eit likt tal betongsøyler hadde ein måtte auka golvhøgda på grunn av lengre spenn. Tubane i seg sjølv er så pass romlege at spennet på betongdekket blir redusert. For å behalde eller redusere dagens 40 cm måtte ein i tilfelle auka talet på søyler. Totalt sett kan det godt hende ein hadde fått meir internt volum, men stivheit og infrastruktur må då gå ein annan plass og innsparinga treng derfor ikkje vere av betydning. Kanskje er denne metoden faktisk meir volumsparande enn tradisjonelle metodar. Ser ein det opp mot reknekksempelet vart det nytta 200 mm høge prefabrikkerte element, altså halvparten av dagens plassstøypte. Det var samtidig tenkt dobbelt så mange søyler, så det må ein sjå i kombinasjon.

Taichung Metropolitan Opera

Arkitekten Toyo Ito har også stått sentralt i utforminga av ein ny opera i Taichung. Bidraget hans vart vist på ei utstilling i Venezia i 2010 og for dette vann han prisen «Praemium Imperiale» som delast ut av «The Japan Art Association» (Kim, 2010). Bygget er revolusjonerande i sin design og føyer seg i rekka av konseptuelt nye bygg frå Ito. Sjå Figur 43.

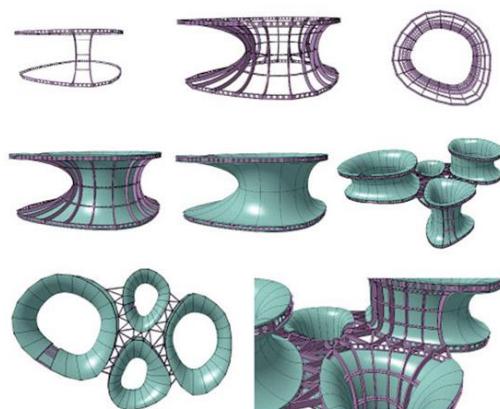


Figur 43: Taichung Metropolitan Opera (Designboom, 2010)

Han utfordrar tankesettet vårt og vil skape rom på ein måte som ein ikkje er van med. Her har han skapt eit bygg som bølgjer seg over og gjennom etasjane. Dette skaper «bobler» som definerer rom og opne volum. Éin og same «vegg» kan skape rom eine plassen og sette avgrensning for volum andre plassar over eller ved sidan av dette rommet. Sjå Figur 44. Den kurva forma skapar ei heilt spesiell romkjensle og opnar opp konstruksjonen på ein original måte. Ito har kombinert design og konstruksjon. Alt er berande og den ovale forma utnyttar dei fysiske eigenskapane til forma og gir ein meir optimal konstruksjon. Sjå Figur 45. Her er ingen søyler midt i rommet som er til irritasjon, men den største negative sida er kor fastlåst heile konstruksjonen blir. Tilpassingsevna er svært lav. Det utnyttar han til å skape store opne rom som likevel kan ha mange bruksområde.

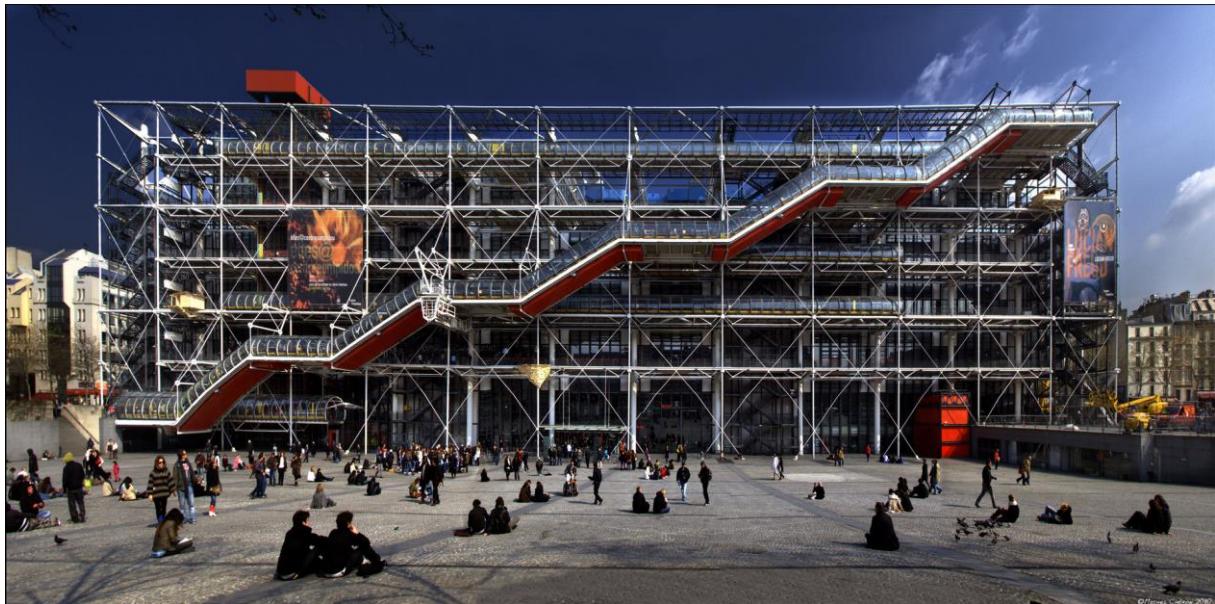


Figur 44: Modell av operaen (Designboom, 2010)



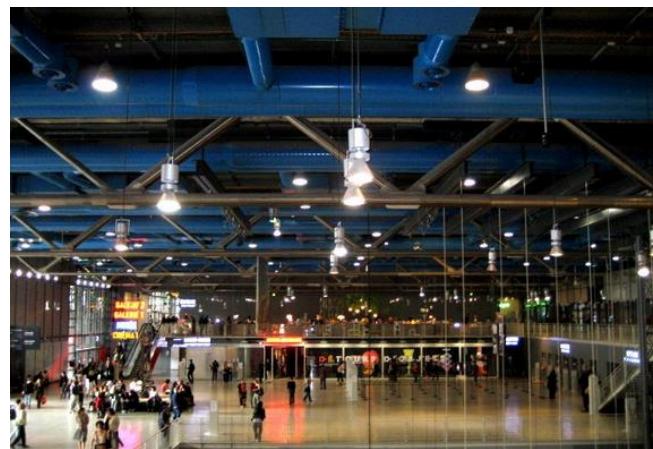
Figur 45: Konstruksjon (Designboom, 2010)

Pompidou-senteret



Figur 46: Pompidou-senteret (Chéron, 2014)

Pompidou-senteret er eit kulturelt senter i Paris, designa av Renzo Piano og Richard Rogers. Det opna i 1977. Arkitektane ønskete å skape noko nytt, og plasserte alt av infrastruktur på utsida av bygget. Sjå Figur 46. Her er alle tekniske installasjonar og vertikal transportflyt plassert. Dei forskjellige komponentane er måla i forskjellige fargar, som for eksempel at alle luftkanalar er blå. Berekonstruksjonen omringar heile bygget og viser alle mekaniske og strukturelle system. Dette er ikkje berre gjort for å la konstruksjonen bli forstått, men også for å maksimere det interne rom (Perez, 2010).



Figur 47: Pompidou-senteret innvendig (Traub, 2007)

Innvendig er der ikkje noko anna beresystem enn lange fagverk som strekk seg over heile etasjen. Sjå Figur 47. Desse gjer at heile rommet opnast opp og gir stor tilpassingsevne. Det er eit veldig flott system som har fått mykje omtale. Når nokon bygger utradisjonelt, brukar det å få mykje merksemd. Ofte kan folk oppsøke bygg berre på grunn av korleis det ser ut, for å roe ned nysgjerrigheita si. Det vil kunne skape publisitet og verdi.

Ser ein litt nærmare på dette bygget, verkar det noko tett frå utsida. Ved å plassere så mykje utstyr her, vil det hindre dagslys i å nå inn i bygget. Det fører til at ein må bruke mykje kunstig lys. I tillegg kan ein lure på korleis det er med kuldebruer. Her er mykje eksponert stål, og sjølv om Frankrike er eit varmare land enn Norge, vil ein oppleve mange kalde dagar. Begge desse faktorane gjer nok at bygget ikkje er like tilpassingsvennleg som først tenkt. Det er rett nok godt med plass inne til å gjere som ein ønsker, men truleg store kostnadar til oppvarming og belysning kan bety at ein ikkje kan bruke det til alle ønskte formål. Det er kanskje mindre egna som kontor eller bustadar for eksempel. Uansett er det eit originalt bygg som viser moglegheita store fagverk gir.

Vertikal tilpassingsevne

Når ein tenker på tilpassingsevne i eit bygg er det ofte den horisontale tilpassingsevna ein har i tankane. Det å ha moglegheit for å endre funksjonen til eit rom, kjent som generalitet, eller det å få opna opp frå cellekontor til kontorlandskap, kjent som fleksibilitet. I tillegg er der ein siste kategori; elastisitet. Det beskriv moglegheita for å endre størrelsen på sjølve bygget eller inndelinga av det. Elastisitet beskriv altså endring i bruksareal og dette vil bli diskutert ytterlegare no.

Hittil i oppgåva har blant anna teknisk mellometasje og opne rom blitt omtala. I tillegg har superetasjar blitt nemnt. Alle desse emna har eit skjeringspunkt som kan bli utnytta for betre elastisitet. Det er ikkje nødvendigvis så klokt eller billig økonomisk sett, men det opnar opp for ein ny dimensjon i bygget og gjer det mogleg å endre etasjene vertikalt, ikkje berre horisontalt.

Idéen er som tidlegare nemnt under kapittelet om Opphengde etasjar i TME, å kombinere superetasjar med teknisk mellometasje og la denne vere berande for eit sett med etasjar. Den kan typisk bere fire-fem etasjar og føre kretene ut til berande fasade og kjerne. Meininga med denne løysinga er at ein får stor valfridom mellom superetasjane. Her vil ein stå fritt til å gjere som ein vil og inga etasje treng å vere lik, bortsett frå superetasjane. Nokre løysingar kan for eksempel vere:

- To store etasjar i staden for fem.
- Etasjar som er trekt inn frå fasade for å opne opp eit atrium mellom superetasjane.
- Varierande høgde på etasjene.
- Ingen etasjar i det heile, bortsett frå superetasjane.
- Ein opphengt glaskuppel midt mellom to superetasjar som for eksempel kan vere kafé, luksuskontor eller leilegheit.

For at dette skal vere mogleg må superetasjane vere konstruert slik at det er lett å plassere søyler eller henge opp strekkstag fleire plassar på dekket. Det stiller krav til fagverkkonstruksjonen, kjerneklassering og vertikalt beresystem.

For å kunne legge til rette for vertikal tilpassingsevne treng ein nokre faste haldepunkt. Eit utgangspunkt i superetasjar for eit gitt tal etasjar er ein god start. Vidare må ein sjå på korleis ein skal bygge etasjene rundt denne. Kretene frå etasjene må kunne førast opp eller ned til superetasjane, inn til kjerne, ut til fasadebering og så ned i bakken. Den kanskje mest krevjande biten for å ha stor nok valfridom mellom superetasjane er korleis ein legg til rette for plassering av søyler og strekkstag. Superetasjane vil gjerne vere bygd opp av fagverk. Dette fagverket vil, og kan, ikkje oppta heile etasjen sjølv. Dermed må ein plassere dei i eit gitt mønster. På toppen av dette blir det lagt eit etasjedekke som fungerer som første etasje mellom superetasjane. Over dette kan ein velje om ein vil bruke plassen til å legge inn fleire dekker eller ikkje. Om ein gjer det med bruk av trykksøyler vil søylene komme ned på gitte plasseringar. Viss desse kjem ned eksentrisk frå fagverkkonstruksjonen vil ein potensielt ha eit problem. Det vil vere store laster som skal førast over frå søylene til fagverket. Om ein får stor avstand her vil ein for det første få eit stort moment å handtere i tillegg til kraftige skjærkrefter. Dette må så bli tatt opp av dekket og førast inn til fagverket. Fagverket må samtidig vere kapabelt til å oppta momentlasta, og ein ser fort ein komplisert berekonstruksjon. Derfor vil det vere aller mest gunstig å få søylene til å treffe rett på fagverket.

For å få til dette har ein to val; enten må ein plassere søylene over fagverket, eller så må ein plassere fagverk under søylene. Det kan potensielt vere veldig forskjellige løysingar. Om søylerutenettet er så tett at ein for eksempel må ha fagverk for kvar tredje meter et ein opp veldig mykje av den frie plassen i superetasjen. Denne plassen er som tidlegare nemnt tenkt å brukast til tekniske installasjonar. Om ein treng å plassere fagverk så ofte vil det kunne vere ei utfordring for tilkomsten i etasjen, føring av rør og tekniske installasjonar og gjennomføringa opp og ned til etasjane den skal betene.

Viss ein snur om på det og seier at ein må sette søyler der ein har fagverk, vil ein kunne sjå ein situasjon der ein for beringa sin del ikkje treng fagverk så ofte, gitt ståhøgde på TME. Det kan føre til så få søyler at bjelkehøgdene for etasjane mellom superetasjane blir så høge at dei tar for mykje plass. Samtidig vil ein med lav tettheit mellom fagverka kunne ha lågare tilpassingsevne.

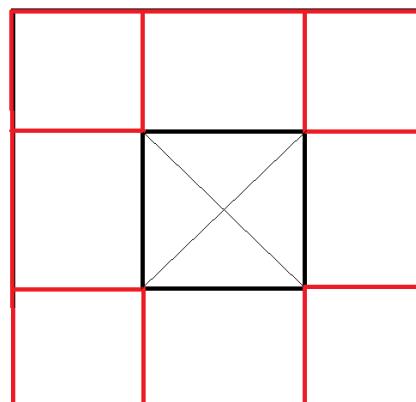
For å ta i vare moglegheita for å plassere søyler der ein vil, må ein lage ein berekonstruksjon som består av ein balanse mellom tal på fagverk og styrke på dekket. Då kan ein kompensere for eksentrisitet på fagverket med eit dekke som tåler lasta frå søylene. Ein kan for eksempel legge opp til at søylene kan komme ned ein meter frå fagverket og dimensjonere for det. Om ein aukar denne avstanden vil ein også måtte auke kapasiteten til dekket, som ofte medfører auka dekkehøgde.

Tankegangen blir den same for strekkstag, men angrepspunktet blir på undersida av fagverket. Ein positiv effekt av det er reduksjon av vippingskapasitet, som kan gi ein noko mindre fagverkskonstruksjon. For å sjå på desse problemstillingane, blir det no presentert nokre moglege utføringar av dette med forskjellige kjerne- og beresystem.

Senterkjerne

I skyskraparar ser ein ofte senterkjerne som den mest brukte løysinga. Desse bygga er høge og slanke. Ei kjerne i midten vil ofte vere tilstrekkeleg for stabilitet og flyt i bygget. Med flyt meinast persontransport og teknisk infrastruktur. Kjernen plasserast på den minst attraktive delen av bygget der det er minst dagslys. Plasseringa er samtidig gunstig for symmetrien i bygget og tar hovuddelen av lastberinga til skyskraparen. For resterande bering er det ofte valt system med interne søyler trekte inn frå fasade, som tidlegare vist på Figur 36 frå Akershus universitetssjukehus. Eit alternativ er å bruke diagrid sidan bygga ofte er slanke nok til det. Det er ikkje like naturleg å bruke eit slikt system om bygget er lavt og breitt.

Om ein vil ha superetasjar er det mest naturleg å velje diagrid. Eit rutenett av søyler vil stabilisere kvarandre og gjer behovet for avstiving mot knekking mindre. Dette er spesielt viktig om ein tar vekk eller trekker inn etasjane i bygget. Knekklengda for fasadesøylene blir då lengre og ein må passe på å ha tilstrekkeleg stabilitet sjølv utan støtte frå interne element. Med kjerne på midten vil spennet på fagverket ikkje bli for stort og det er god kapasitet for å ta opp lastene frå superetasjane. Ei enkel planskisse av dette er vist på Figur 48. Her er bygget kvadratisk, men det er ikkje eit krav. Utforminga bør likevel vere nokså lik. Dei raude streka er fagverket og det svarte er kjernen.

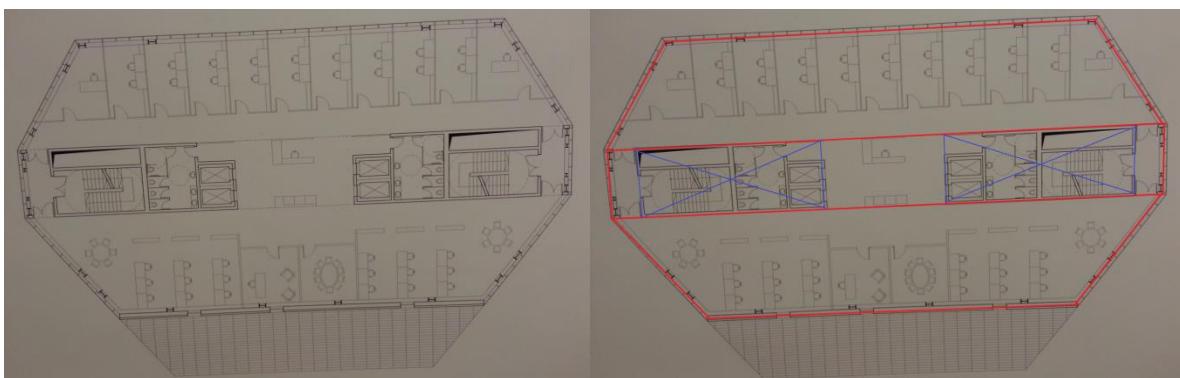


Figur 48: Fagverk med senterkjerne

Delt kjerne

Mange bygg i dag har ikkje nok med berre ein kjerne. Enten er avstanden internt i bygget så stor at ein treng fleire trappe- og heissjakter for effektiv bruk av bygget eller så har ein krav til kortare avstand til rømingsvegar. Ein endar då opp med ein delt kjerne. Den kan bli plassert i fasade på begge sider av bygget, fleire plassar internt eller ein kombinasjon. For å ta omsyn til seismisk aktivitet må det heller ikkje vere for mange stive kjernar i eit bygg. Dette for å la bygget kunne bevege seg om det oppstår jordskjelv. Bygget blir elastisk og er med på å redusere skadar på konstruksjonen.

Eit eksempel på delt kjerne er vist på Figur 49. Dette er henta frå prosjektoppgåva og er arbeidet til gruppe 4. For å tydelegare vise konseptet er det tatt med ein figur med og utan fagverket. Dette er merka som raudt medan det blå krysset viser kjernane. Om nødvendig kan ein sjå på moglegheita for også å sette inn eit fagverk tvers på bygget (ikkje vist på figuren), men slik som spennet er no er situasjonen mest sannsynleg overkomeleg slik som vist.



Figur 49: Plan med og utan fagverk for delt kjerne

Ein fordel med akkurat dette bygget er at avstanden frå kjernane og ut til berande fasade ikkje er så stor. Det gjer det mogleg å ikkje ha noko intern bering bortsett frå kjernen som opnar opp etasjane. Problemet er at det opne romet ikkje er så alt for stort. Det blir nokså langt og smalt. For å kunne fullt utnytte potensialet i superetasjar og vertikal tilpassingsevne er det betre om ein potensielt kan få større interne volum. Ein måte å gjøre det på er å skalere denne typen bygg opp og få auka avstanden mellom kjernane. Då vil ein få eit rom mellom desse som er mogleg å bruke til noko anna enn gang og resepsjon. Slik som bygget er no er det ikkje lagt opp til å bruke superetasjar og då får ein ikkje utnytta den valfridomen som dette gir. Derfor er planløysinga og størrelsen på bygget som det viser no.

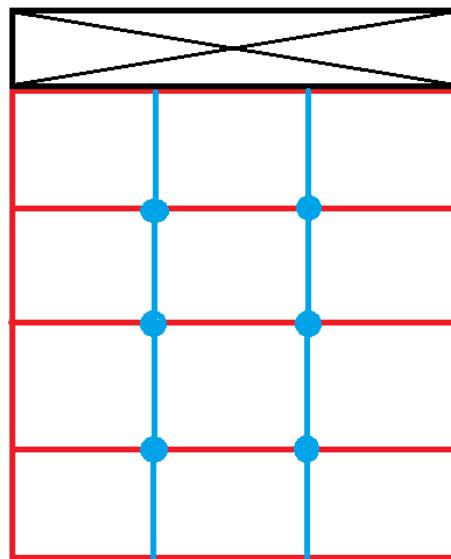
Endekjerne

For å opne opp etasjane mest mogleg er endekjerne ei løysing som kanskje løyser dette best. Ein plasserer rett og slett så godt som alt av tekniske føringer på utsida av bygget. Då får ein fritt spelerom i hovudbygget og for å legge til rette for å lage dei romma ein vil, spesielt mellom superetasjane. Sjå kapittelet om The Leadenhall Building. Her er det nytta superetasjar, men ikkje teknisk mellometasje. Ei negativ side med endekjerne er at ein potensielt kan få store spenn. Alternativt må ein gjere som gjort i Leadenhall; å sette inn søyler midt i etasjane. Dette hindrar fri flyt og full tilpassingsevne horisontalt. Ei løysing vil å vere å bruke strekkstag som kan bli så tynne at dei kan skjulast i veggar.

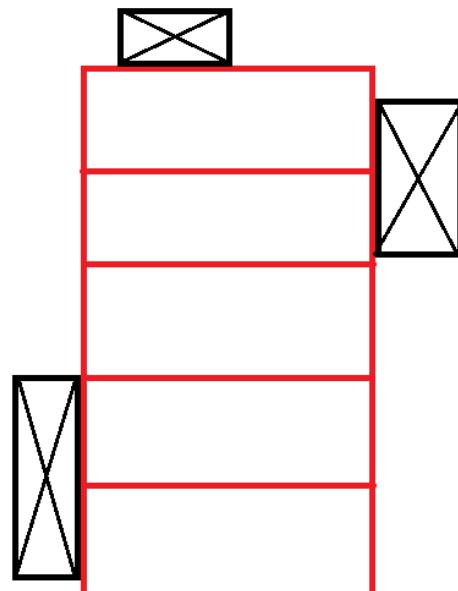
Tanken med ei slik kjerne er som sagt å få opna opp heile etasjen. Ei mogleg løysing er å sjå på Figur 50. Her viser det raude det tiltenkte fagverket medan det blå er eit alternativt supplement i tilfellet spennet blir for stort. Rundingane er søyler eller strekkstag.

Ei anna løysing for å opne opp planen er å fordele kjernen rundt bygget, slik som på The Lloyds Building. Tanken med dette bygget var akkurat det; å få opna opp det interne rom. Problemet med det bygget er at ein likevel er nokså låst på grunn av store interne søyler og få moglegheiter for å endre planløysinga, då bygget sin infrastruktur er nokså bestemt. Rømingsvegane må ligge der dei gjer og det verkar mot si hensikt å bygge igjen det store atriet i midten av bygget. Då hindrar ein samtidig dagslys i å nå ned til etasjane.

Likevel er her ein idé som er mogleg å hente inspirasjon frå. Om ein fordeler kjernane rundt bygget og brukar superetasjar kan ein kanskje klare seg utan interne søyler. Då opnar ein opp for å kunne lage etasjane slik som ein vil, ikkje bundne av søyler midt i rommet. Det gjer at ein får utnytta det fulle potensialet til vertikal tilpassingsevne og kan opne heilt opp mellom to superetasjar. Ei slik løysing er vist på Figur 51. Nokre fasadar vil delvis bli bygd igjen, men det vil vere positivt at ikkje heile fasaden er tett. Då vil ein sleppe gjennom dagslys og avstanden til trapp- og heissjakt vil ikkje vere for langt vekke. Alle desse løysingane er basert på at ein tar hovudbering gjennom diagrid eller anna konstruksjon nær fasaden.



Figur 50: Fagverk med endekjerne



Figur 51: Fagverk med delt endekjerne

Fagverkdimensjon

Ved å gjere ein del forenklingar er det mogleg å rekne på eit eksempel for å finne dimensjonane på fagverket i superetasjene. Det er nokså greitt å finne lastsituasjonen om ein bestemmer lastarealet og talet på etasjar. Vidare antar ein at det er momentkapasiteten som blir dimensjonerande og at det er gurtane i fagverket som tar hand om dette. Ein får eit kraftpar som verkar i trykk i overgurten og strekk i undergurten. For skjærkapasiteten må ein berre passe på å sette inn nok skråstag mellom gurtane for å få nok skjærareal. I tillegg må skråstaga vere stive nok til å forhindre knekking og vipping.

Parameterane som utgjer dimensjonerende situasjon er bestemt til ei fagverkshøgde på 2,5 meter. Dette bør vere tilstrekkeleg for å romme dekket for etasjen over og det gangbare dekket i TME. Då vil det vere igjen noko under 2 meter fri høgde som gjer tilkomst enklare. Det er bestemt at kvar superetasje skal bere fem etasjar i tillegg til TME, og lastarealet blir som for Figur 51 med spenn på 30 meter og lastbreidde på 10 meter. Ut i frå tabell 2 er det bestemt at nyttelast er 4 kN/m^2 og eigenvekt er $2,3 \text{ kN/m}^2$ med bruk av DT-element med høgde på 300 mm (Alexander & Vinje, 2010). Eigenvekt av ståltagverket, strekkstag og opphengsbelkar er satt til $0,7 \text{ kN/m}^2$ slik at total eigenvekt blir 3 kN/m^2 .

Enkel analyse med massivt ståltverrsnitt gir ein dimensjon på gurtane på 320x320 mm. Sjå vedlegg 9. Dette er nokså lite og ein overkomeleg dimensjon. Grunnen til dette er at det er nytta massivstål. Oftast i fagverk brukar ein holprofil som er sveiste saman. Dette gir fleire fordelar. Fagverket blir lettare då ein utnyttar eigenskapane til holprofilane som har massen plassert der den trengst. Ein kan få større anleggsflater og ein profil som er meir optimalisert. Det kan vere bra for lokal knekking og vipping. Likevel er det mogleg å bruke massivstål om ein vil spare litt plass. I TME vil ein ha eit avgrensa rom å bolstre seg på, men ein har likevel nokså god takhøgde til å kunne bruke eit optimalisert fagverk.

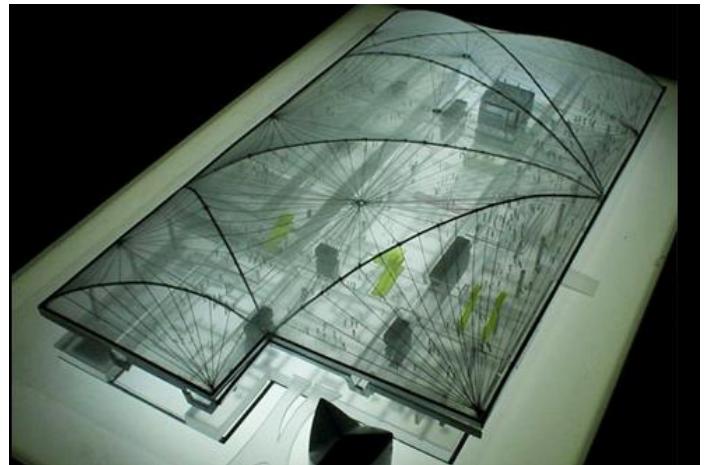
V

Svære volum

Det er mange måtar å tenke tilpassingsevne på og ofte blir dette vurdert innover i eit bygg. Det vil seie at ein prosjekterer berekonstruksjon slik at ein enkelt kan gjere ombyggingar med meir, horisontalt over etasjane. Dette har blitt omtala under eige kapittel om Opne rom. Ein annan og nokså ny tanke som no blir presentert er å bygge store klimaskal som husar fleire bygg. Desse bygga står i ly for vêr og vind under klimaskalet og treng berre ta opp vertikale krefter og eventuelt seismisk aktivitet. Dette gjer berekonstruksjonen lettare og bygga billigare. Ei følgje av dette er at ein får moglegheit til å ta ned eksisterande bygg og sette opp nye ved endra behov. Kanskje kan ein tenke seg modulbygg der elementa kan brukast på nytt og på nytt. Dette er eit felt som er lite utforska på verdsbasis, men som er delvis gjennomført i store prosjekt som flyplassar. Det vil derfor bli vist til referanseprosjekt og bygg som liknar i form som kan tenkast brukt til slike formål.

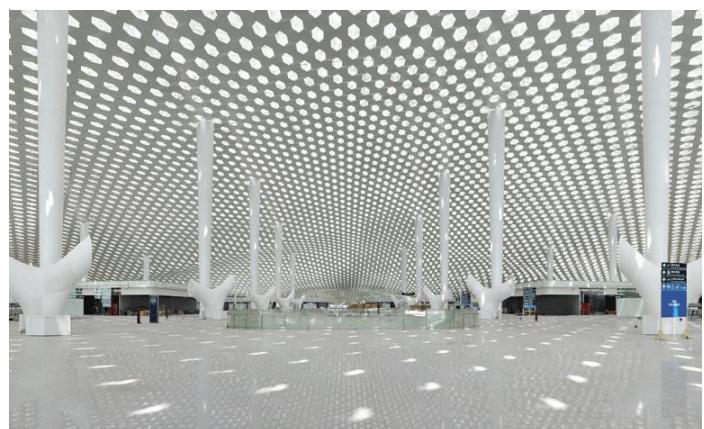
Skal-konsept

Eit aktuelt konsept for å oppnå eit godt klimaskal er å bygge eit stort skal med stort internt volum. Skalet er sjølvberande og omringer heile volumet utan frie opningar til utsida. Det kan enten formast med eit stort spenn eller med interne søyler. Med sistnemnde løysing er det fordelaktig med færrest mogleg søyler. Figur 52 viser ein modell i mindre skala av korleis ei slik løysing kan bli sjåande ut.



Figur 52: Modell Los Angeles County Museum of Art (OMA, udatert)

Ei løysing med interne søyler er å finne på mange større flyplassar, slik som vist på Figur 53. Her er etasjehøgda noko lav og mogleg det hadde vore bra med litt færre søyler. Eit nokså likt eksempel er å sjå på Figur 54. Om ein fjernar dei etasjane som er satt inn her, vil ein oppnå ei god etasjehøgde og ein fårt eit bra konsept å jobbe ut i frå.



Figur 53: Shenzhen Bao'an International Airport (Stathaki, 2013)

Ein finn likevel i dag ikkje så mange bygg av denne typen som utnyttar interne bygg med klimaskaloverbygg. Det vil derfor vere naturleg å sjå nøyare på eit eksempel med ein flyplass som gjer det. Følgjande kapittel vil diskutere dette.



Figur 54: Baku's Heydar Aliyev International Airport (Fort, 2014)

Nye Istanbul Flyplass

Det er planlagt fleire nye flyplassar rundt om i verda og trenden er at dagens flyplassar berre blir større og større. Istanbul sin nye flyplass er planlagt til 1 million kvadratmeter og 150 millionar passasjerar årleg (Architecture, 2013). Dette blir verdas største flyplass og med det trengs store interne areal. Det er løyst på same måte som vist ovanfor og er enda eit godt eksempel på skalkonstruksjonar med stort internt volum. Sjå Figur 55. Her er det også vist prinsippet med frittståande interne bygg opp til fire etasjar. Vidare er konstruksjonen så stor at det er mogleg å auke denne høgda betrakteleg. Sjå Figur 56 og Figur 57. Den frie høgda om ein tar vekk alle etasjane og står igjen med berre søyler og tak, er over 30 meter (Nordic & Grimshaw, 2015). Dette gjer det mogleg å realisere idéen om eit frittståande klimaskal som tar opp eksterne krefter og interne bygg som er i større grad tilpassingsvennlege. Det interne volumet på terminalbygget blir så stort at ein i realiteten kan rome kva som helst slags funksjon, frå fabrikkareal til kontor og bustad med store grøntareal.

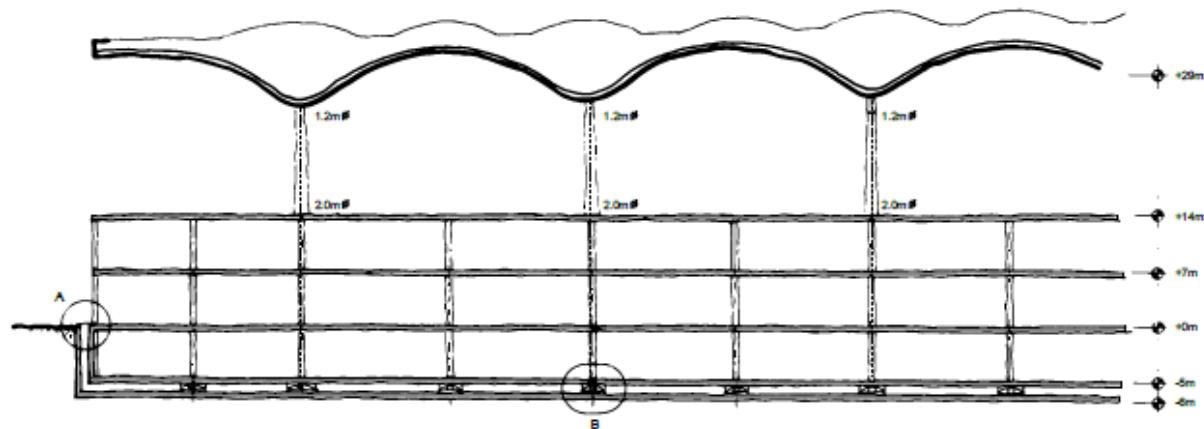


Figur 55: Nye Istanbul flyplass innvendig (Architecture, 2013)

Einaste hindringa ein ser er dei interne søylene. Desse står med spenn på 34 x 34 meter med eit maksimalspenn over terminalkjernen på 54 x 34 meter (Nordic & Grimshaw, 2015). Om ein tar omsyn til desse ved vidare planlegging og ombygging, står dei så pass langt frå kvarandre at det mest sannsynleg ikkje er eit stort problem. Dei kan likevel vere til hindre ved andre bruksfunksjonar, som verkstad og fabrikk for fly. Valet av spenn vil med andre ord vere avhengig av i kor stor grad ein skal gjere bygget sitt tilpassingsvennleg. Etter kvart som spennet aukar, vil ein kunne romme fleire og fleire bruksfunksjonar, men det vil også måtte sjåast opp mot sannsynlege bruksendringar. Ikkje alle bygg i verda treng å vere flyfabrikkar!

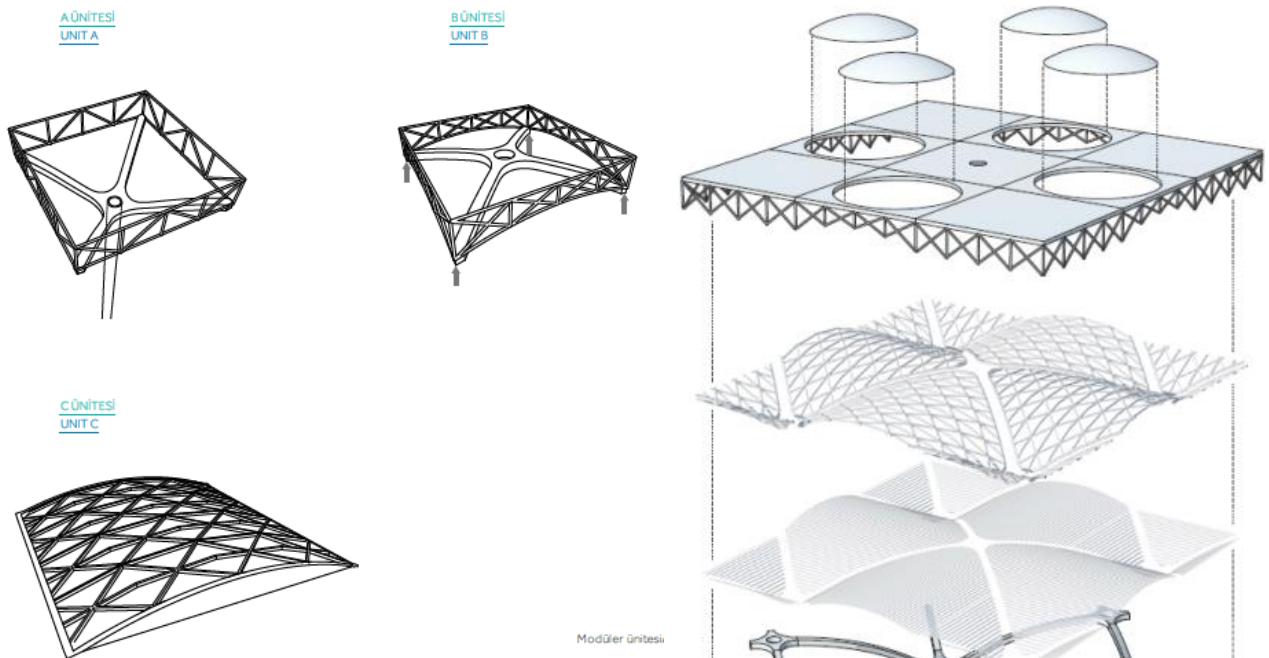


Figur 56: Nye Istanbul flyplass utvendig (Architecture, 2013)



Figur 57: Snitt av Nye Istanbul flyplass (Nordic & Grimshaw, 2015)

Taket på terminalbygget var i første runde tenkt å bli konstruert med bruk av tre prefabrikkerte modular. Sjå Figur 58. Desse skulle settast opp i eit bestemt mønster, sjå Figur 59, slik at dei til saman spente over heile området, berre understøtta av søylegridet. Sjå Figur 60. Det vart seinare endra til eit romfagverk. På tidspunktet denne oppgåva vart skriven, var ikkje dette ferdigutvikla og heller ikkje av stor betyding då vist løysing er god nok som eksempel.



Figur 58: Modular (Nordic & Grimshaw, 2015)

C	B	C	B	C	B
A	C	A	C	A	C
C	B	C	B	C	B
A	C	A	C	A	C

Figur 59: Moduloppsett (Nordic & Grimshaw, 2015)



Figur 60: Oppbygging av taket (Nordic & Grimshaw, 2015)

Konseptet er nokså enkelt, men komplekst. Enkelt på den måten at ein kan bruke prefabrikerte element, som lettare kan heisast på plass og monterast. Det gir kortare byggetid og enklare byggeprosess. Vidare er den kompleks på måten den er bygd opp på. Modulane er krumme og gir ekstra romkjensle. Dei er opne innvendig slik at ein får tilgang til tekniske installasjonar, mykje likt ei teknisk mellometasje. Taket slepp også igjennom naturleg lys og er med på å skape eit spennande miljø inne med mønster og former. Det som er mest spennande med dette oppsettet er moglegheita for så store interne volum. Ein opnar opp for tilpassingsevne ved å dimensjonere for eit klimaskal som skal stå i mange titals, kanskje hundrevis av år. Ingeniørane har konstruert for jordskjelv med returperiode på 475 år. Dette gjeld generelt for bygget, medan ein for delar av bygget som er kritiske for sikker drift har ei returperiode på 2.475 år (Nordic & Grimshaw, 2015). Med andre ord kan dette bygget mest truleg stå lenge, og det vil ikkje vere jordskjelv som er avgjerande for levetida.

Søylene

For å studere nærmare søylene som er brukt i dette konseptet, kan ein potensielt ha eit knekkingsproblem om ein opnar heilt opp den interne planløysinga. Fjernar ein alle etasjane og frigjer det interne volumet, vil ein få ein takkonstruksjon som blir frigjort frå dei interne bygga. Det vil auke knekk lengda til søyene betrakteleg og truleg skape ei utfordring. I staden for at søyene blir støtta for kvar etasje under hovudetasjen blir no den sideveis støtta tatt vekk. Det gjer at knekk lengda aukar frå ca. 13 til 32 meter i følgje Figur 57. Mest truleg har dette blitt tatt høgde for og søyene blitt dimensjonert for eit tilfelle med lengst knekk lengde, då dette er tilfelle ute (sjå Figur 56). I tillegg vil etasjane påføre stor ekstralaster som fører til auka dimensjon av søyene. Det kan vere med å gi den ekstra dimensjonen som søyene treng for å ikkje knekke sjølv med lengst knekk lengde.

Om ein tar ei utrekning på dette med søyler på to meter i diameter som angitt på Figur 57 vil denne hypotesen bli kontrollert. Ein mest truleg konservativ føresetnad er å sei at takkonstruksjonen sin eigenlast er 10 kN/m^2 . Vidare blir eigenlasta av søyla tatt med då den er nokså solid. I Istanbul har ein ikkje snø, så nyttelast på taket blir medrekna i eigenlasta, då den mest sannsynleg er nokså lav. Lastarealet er satt til $34 \times 34 \text{ m}^2$.

Analysen viser at ein ved både 13 og 32 meters knekk lengde ikkje er i nærleiken av søyla sin kapasitet. Sjå vedlegg 10. Dette er nok mykje på grunn av at dimensjonen til søyene er mykje meir kompleks enn rekna ut her. Som tidlegare nemnt er terminalen dimensjonert for nokså kraftige jordskjelv, og det vil spele inn på dimensjonen. I tillegg vil etasjane påføre store laster til søyene som vil måtte auke dimensjonen på grunn av dette. Med andre vil det å fjerne etasjane mest sannsynleg bidra til å redusere tverrsnittet til søyene.

Nye Istanbul Flyplass er uansett med på å sette eit godt eksempel på kva som er mogleg å bygge av denne typen bygg. Terminalbygget gir eit kjempestort klimaskal med moglegheit for frittståande interne bygg. Det er eit spennande prosjekt som kjem til å stå som eit godt eksempel for mange andre bygg i framtida.

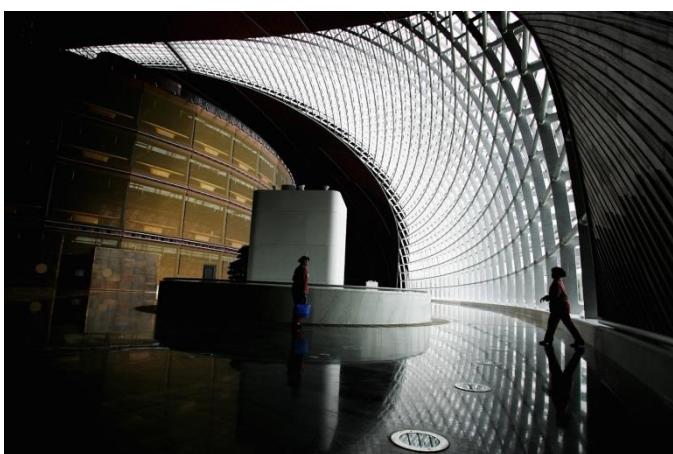
Beijing Opera House

Når ein skal lage store bygg må ein tenke arkitektur på ein annan måte, og når ein skal konstruere klimaskal blir det også eit nytt tankesett. Mange kan finne store bygg påtrengande og det vil truleg ikkje vere like lett å inkludere byggverket i omkringliggende miljø og natur. I tillegg vil eit klimaskal kunne sjåast på som ei tildekking av det faktiske bygget. Ein må altså ta andre omsyn.

Skalkonseptet legg likevel til rette for eit nokså visuelt vakkert bygg, som vist på Figur 61 av Beijing operahus. Det interne volumet, sjå Figur 62, blir stort og ein har også moglegheit til å grave seg ned i bakken og auke volumet ytterligare utan at det visast på utsida. På dette bygget er inngangspartiet flytta under bakken og brukarane må gå gjennom ein gjennomsiktig tunnel under vatnet for å kome inn i bygget. Dette gjer at ein får bevart den reine overflata til bygget og framhevar det arkitektoniske elementet. Det er altså mogleg å lage store bygg som fell naturleg inn i omgjevnadane.



Figur 61: Beijing Opera House (McKenzie, 2013)

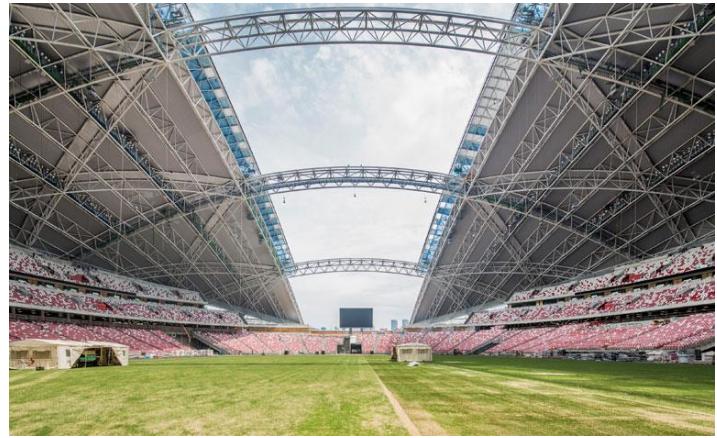


Figur 62: Beijing Opera House (McKenzie, 2013)

Ser ein i høgda får ein ikkje inn skyskraparar i desse løysingane, men treng ein arealet tilsvarende ein skyskrapar må ein ta i bruk større landareal. Dette gjer at denne løysinga ikkje er godt egna i byområder då det krev mykje plass. Ei anna utfordring med denne løysinga kan vere å få inn nok dagslys og samtidig i varme strøk ikkje få eit problem med overoppheiting. I tillegg blir ein slik takkonstruksjon fort nokså djup for å kunne ta opp nødvendig last. Resultatet blir eit tak som ikkje er så transparent som ønskja .

Stadion-konsept

Det finst i dag mange store bygg og nokre av desse har også ganske så store opne interne volum. Ser ein til idretten si verd vil ein sjå massive stadion rundt omkring som skal romme fleirtals titusen tilskodarar. Det varierer om desse er overbygde eller ikkje. Dei som ikkje er overbygde er ikkje relevante for denne oppgåva. Derimot finst der stadion som har overbygg som kan takast av ved behov. Dette er ei løysing som kan vere aktuell å studere. Singapore Sports Hub, sjå Figur 63, er eit slikt tilfelle. Her er det mykje plass innvendig til høge og breie bygg. Taket kan opnast og bringar utsida inn, fortrinnsvis på fine dagar.

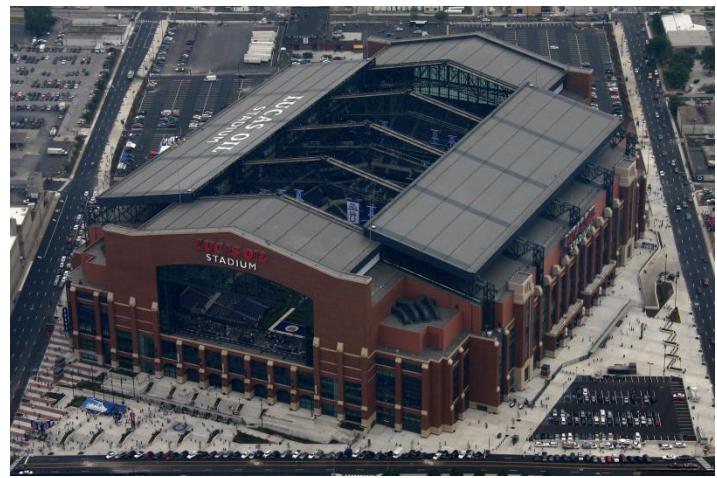


Figur 63: Singapore Sports Hub (Wu, 2014)

Eit anna eksempel på dette er Cowboys Stadium i Dallas. Sjå Figur 64. Her er prinsippet det same, men størrelsen er større. Ein fordel her er rettare ytterveggar som skapar eit meir kubisk internt volum som kan vere gunstig for effektiv bruk av volumet. Vidare kan Lucas Oil Stadium vise eit eksempel på korleis eit stadion kan sjå ut meir som eit ordinært næringsbygg, om dette er ønskeleg. Sjå Figur 65. Eit viktig element å ta i vare er moglegheita for tilgang til bygget om ein skal gjøre ei ombygging. Dette må gjerast i form av store dører/portar eller veggar/tak som kan fjernast ved behov. Om ein kan ta vekk taket som vist på desse eksempla, vil det kunne vere mogleg å heise ut og inn element.



Figur 64: Cowboys Stadium (Viracon)



Figur 65: Lucas Oil Stadium(List, 2014)

Membran-konsept

Eit siste konsept er å bruke membranskal. Forskjellen frå skal-konseptet er at dette er «dukar». Skal-konseptet har faste tak som gjerne er prefabrikkerte modular eller glastak. Ein membran er meir å rekne som ein kontinuerleg duk som kan bli halden oppe av søyler i trykk under takkonstruksjonen eller med strekkstag/vaierar frå søyler høgare enn sjølve membranen som jobbar under trykk.

München OL-park

Dette er brukt på OL-parken i München. Sjå Figur 66. Det gjer det mogleg å lage store overbygg med spennande designløysingar. Her har ein også ofte moglegheit for å velje lysgjennomtrengjande membran. Konstruksjonen kan gjerast open som gjort i München, eller lukka for å fullstendig ta opp vindkrefter. Med open konstruksjon vil ein få naturleg ventilasjon, men den vil samtidig ikkje kunne halde på like mykje varme. Dette vil dermed både vere klima- og bruksavhengig. Er tanken, som utgangspunktet i denne oppgåva, at bygga innvendig skal vere lettast mogleg er det fordelaktig å ha ein lukka konstruksjon. Vêret i München er mildt om sommaren og kaldt om vinteren. Det kan komme mykje snø og membranskalet må derfor dimensjonerast for både snø- og vindlast. Taket er bygd opp av stålkablar som er lagt i eit rutemønster. Dette blir så halde oppe av store mastar med solide fundament. Totalhøgda under membranen på stadiondelen er på det meste 58 meter og der er spenn på opp til 65 meter. Dei tilhøyrande mastene er frå 50-70 meter (Bachman, 2003).

Dette konseptet er likevel nokså lite brukt rundt om i verda. Grunnane til det kan vere fleire. Ein kan diskutere om det er spesielt vakkert og bruksfunksjonen for konstruksjonen er nokså snever. Det er bygd for å kunne romme flest mogleg folk som har kledd seg for å vere ute. Med andre ord kan det vere vanskeleg å bruke det som eit tilpassingsvennleg område, men det har kanskje eit potensial om utforminga endrast litt. Eit konsept som er ein del nærmare denne tanken er Googleplex som no blir presentert.



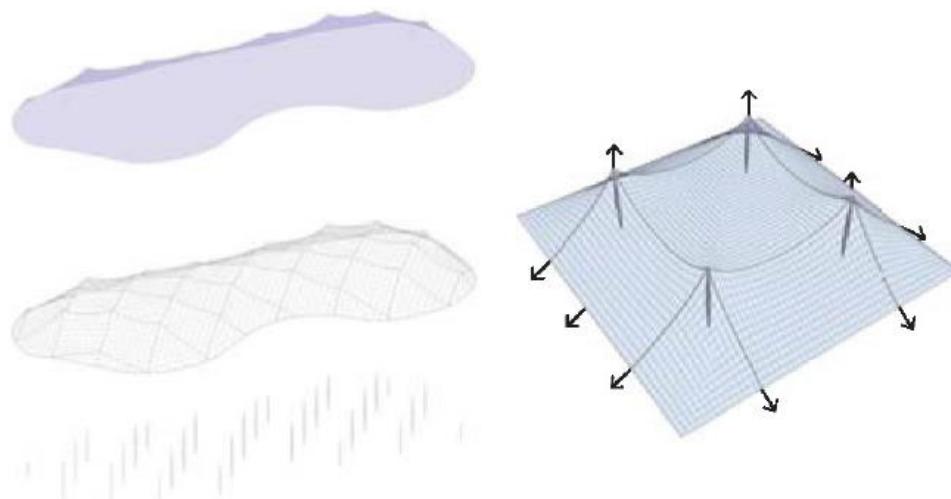
Figur 66: München OL-park (Geolocation, 2011)



Figur 67: Nye Hovedkvarteret til Google (Google, 2015b)

Googleplex

27. februar 2015 publiserte Google dei første planane for nytt hovudkvarter i Silicon Valley. Sjå Figur 67 og vedlegg 11. Det er nytta membranskal med interne søyler. Dei fleste veggane av membranane går ned til bakken bortsett frå der ein har laga inngangsparti. Her er som regel membranen trekt litt opp og erstatta av glasfasade. Arkitektane, Bjarke Ingels Group og Thomas Heatherwick Studio, ønsker å skape bygg som mogleg kan vare i fleire hundre år (Google, 2015a). Dei legg vekt på tilpassingsevne med opne løysingar og interne bygg som kan endrast ved behov. Små flyttbare robotar skal hjelpe i dette arbeidet for billigare og raskare moglegheit for endring (BIG et al., 2015). Eit av måla med prosjektet er å foreine natur og menneskeskapte bygg for å lage eit så bra arbeids- og opphaldsrom som mogleg (Google, 2015a). Ein har grøntareal, gang- og sykkelstiar gjennom konstruksjonane og ein campus utan personbiltrafikk. Idéen er å skape ei kryssing mellom inne og ute der ein brukar membrankonstruksjonen som vêrtetting. Den gjer det mogleg å ha kontroll på luftforureining og temperatur. Innebygd i takkonstruksjonen er det solskjerming og duken er designa for å hindre fuglar i å kollidere i den (BIG et al., 2015).

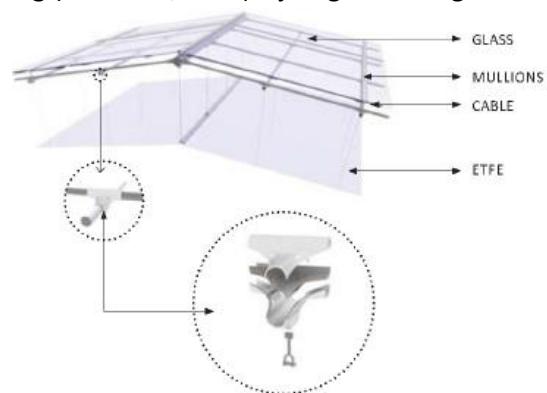


Figur 68: Takkkonstruksjon (BIG, Studio, Architecture, & Sera, 2015)

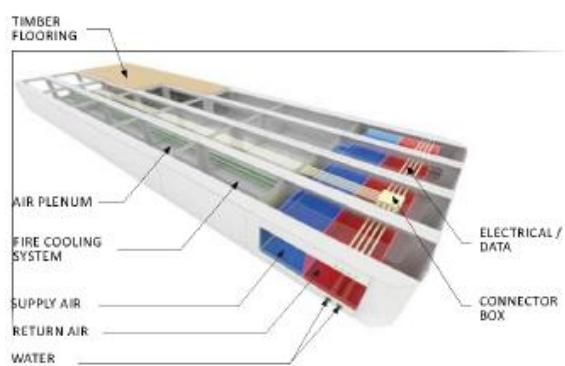
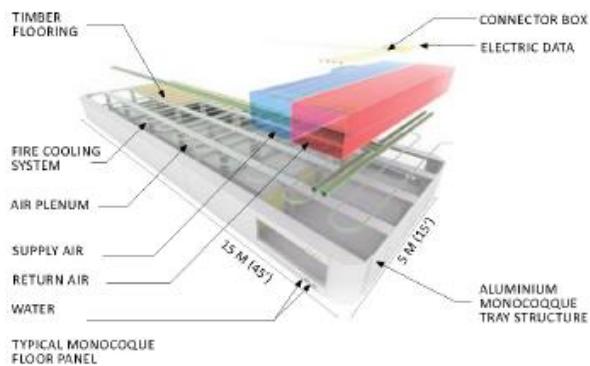
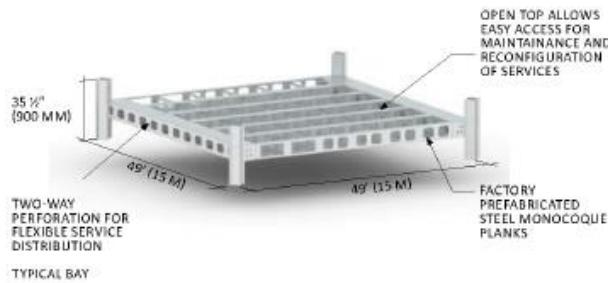
Klimaskalet legg til rette for lettare interne bygg. Arkitektane har større spelerom og har tatt bort mange veggar for å opne opp og skape ein meir pulserande atmosfære. Dei tar framleis høgde for lyd- og brannkrav, men meiner sjølv dei no skapar eit prosjekt som vil påverke korleis vi ser for oss bygg i framtida. Takkkonstruksjonen er bygd opp av ein membran som kviler på eit nett av stålkabler. Dette er trekt over eit nettverk av søyler. Membranen vil arbeide i strekk, medan søylene tar trykk. Når membranen treff bakken, vil kreftene bli tatt opp via ein forankringsring. Om den stoppar over eit inngangsparti, vil den bli forankra på ein stiv endebjelke med strekkstag forankra mot fundament. Søylene er sigarforma for optimal motstand mot knekking (BIG et al., 2015). Sjå Figur 68 – Figur 70.



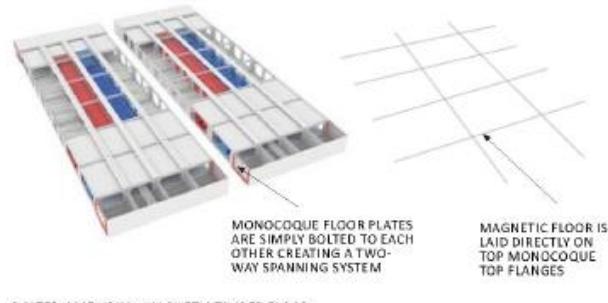
Figur 69: Detalj søyle (BIG et al., 2015)



Figur 70: Detalj tak (BIG et al., 2015)



TYPICAL MONOCOQUE FLOOR PANEL



TYPICAL STRUCTURAL BAY SERVICED FLOOR PLATE

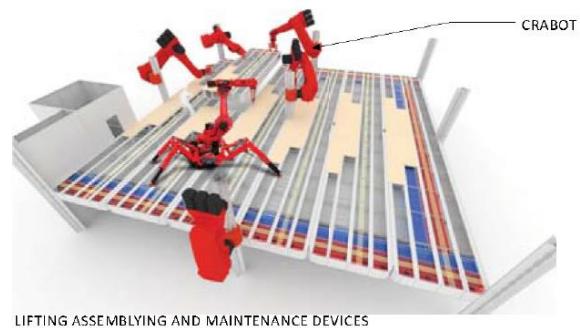
64

Figur 71: Oppbygging golv (BIG et al., 2015)

Oppbygginga av dei interne bygga er lagt vekt på å vere lettast mogleg. Prefabrikkerte element er bruk. Dei er optimalisert i forhold til transport- og vektvilkår for å kunne bruke små nok kraner for lettast og raskast montering. Elementa kjem i 5 x 15 M-modular og er tilrettelagt for føringar av teknisk installasjon. Det er mogleg å kome til denne frå toppen, noko som gjer vedlikehald og utskiftingar enklare. Undersida fungerer som kjølig utstrålande overflate og brannskilje (BIG et al., 2015).

Modulane er fleksible og tillét i stor grad å endrast, både på form og gjennomholing. Det gjer dei tilpassingsvennlege og kan i større grad nyttast overalt. Dette i samanheng med at det er enkelt å tilpasse tekniske føringar i elementa, gjer at ein får bygg som er lettare å endre. Gjennom ei sensitivitetsanalyse har ein kome fram til at eit søylegrid på 15 x 15 M er best. Det gjer elementa store nok til å romme det ein treng av tekniske føringar. For å optimalisere kjerne-til-golv-faktoren har ein studert behovet for rømmingsvegar og evakueringslengder og sett dette opp mot strategi for tekniske installasjonar og seismisk stabilitet. Det har ført til eit golvareal på 30 x 30 M (BIG et al., 2015).

Oppbygginga og samansetting av elementa kan sjåast på Figur 71. Montering- og vedlikehaldskranene som er tenkt nytta, kan sjåast på Figur 72. Desse skal bidra til raskare, billigare og betre utføring av dei interne bygga.



Figur 72: Kraner (BIG et al., 2015)

Potensialet

I løpet av søkerprosessen til bystyret vart planane dessverre stoppa på grunn av manglende teknologi med dagens byggestandard. Linkedin var i konkurransen om den same tomta og dei valde ein byggemetode som er kjent. Dei argumenterte med at det ville vere betre for byen med større mangfald av bedrifter og at dei hadde avtale med ein bustadutviklar som kunne sette opp billige bustadar for folk. Dette likte bystyret som stemte i favør Linkedin og tildelte dei mesteparten av tomtearealet i Mountain View (Qvale, 2015). Likevel er det eit prosjekt som gir inspirasjon og utfordrar tradisjonelle byggemetodar. Det er ved nytenking ein får vidareutvikla dagens teknologi, og forhåpentlegvis tar Google dette vidare og finn ei løysing som vil fungere.

Så tidleg i eit byggeprosjekt vil det så klart vere mange spørsmål og utfordringar som ikkje er løyste og ein kan vere kritisk på fleire område. For eksempel kan ein stille seg spørsmålet om kor viktig det faktisk er å bygge naturen inne. Treng ein å foreine inne og ute i så stor grad som dei ønskjer her når klimaet er så pass bra som det er i California? Kanskje er det litt av den naturopplevinga menneske ønskjer ved å vere ute at ein kan få litt vær og vind. Ute vil ein i større grad også få sjå fugle- og dyreliv. Ved å sette av store grøntareal inne, vil det bli eit større overbygg som må byggast, og kanskje er det vel så effektivt å bygge mindre og heller la folk gå ut og oppleve naturen.

Vidare er det fleire spørsmål til den tekniske løysinga dei har valt. For det første eksisterer den ikkje, men dei har ein idé og det kan vere nok for å klare å utvikle den. Det som derimot kanskje er viktigare å ha fokus på er korleis ein klarere å bygge denne så robust at den skal stå i fleire hundre år, som ønska. Kva skjer om noko av membranen blir øydelagt og må feltvis bli skifta ut? Korleis er tilgangen for vedlikehald? Det ser ut som eit avansert stillas som må byggast. Vil ein faktisk klare å oppnå den transparentheita ein ser føre seg og samtidig unngå at fuglar kolliderer i membranen?

Arkitekt- og prosjekteringsgruppa har ein jobb framføre seg for å finne ei løysing som vil fungere, og som skal fungere i mange hundre år. Det er nok ei oppgåve dei ser positivt på då det verkar som om Google har gitt dei nokså frie tyglar til å utvikle eit nytenkande prosjekt. Så får det vise seg om dei faktisk får moglegheita til dette eller ikkje. Tanken er i alle fall spennande og i tråd med kva som er tenkt i denne oppgåva. Underteiknande ser gjerne at Google likevel får gjennomført prosjektet så vi i framtida kan sjå potensialet med denne typen bygg, og om det er ein suksess eller ikkje.

Norske bygg

For å sjå innanfor eigne landegrenser har ein også i Norge bygg som kan brukast som eksempel. Dei er ikkje like spektakulære som dei i utlandet, men er ofte basert på same prinsipp.

Domkyrkjeruinane på Hamar

Domkyrkjeruinane på Hamar har eit overbygg av glas. Sjå Figur 73. Høgda er nokså grei, men på grunn av trekantforma får ein ikkje så mykje internt volum. Det blir vanskeleg å bygge kubiske blokker og andre konstruksjonar for å få utnytta volumet. Her er det satt opp for å verne attståande vegg av domkyrkja. Det hadde med andre ord ikkje vore hensiktsmessig med ei anna form med større volum. Ein kan ikkje akkurat fjerne det interne byggverket og erstatte det med noko nytt!

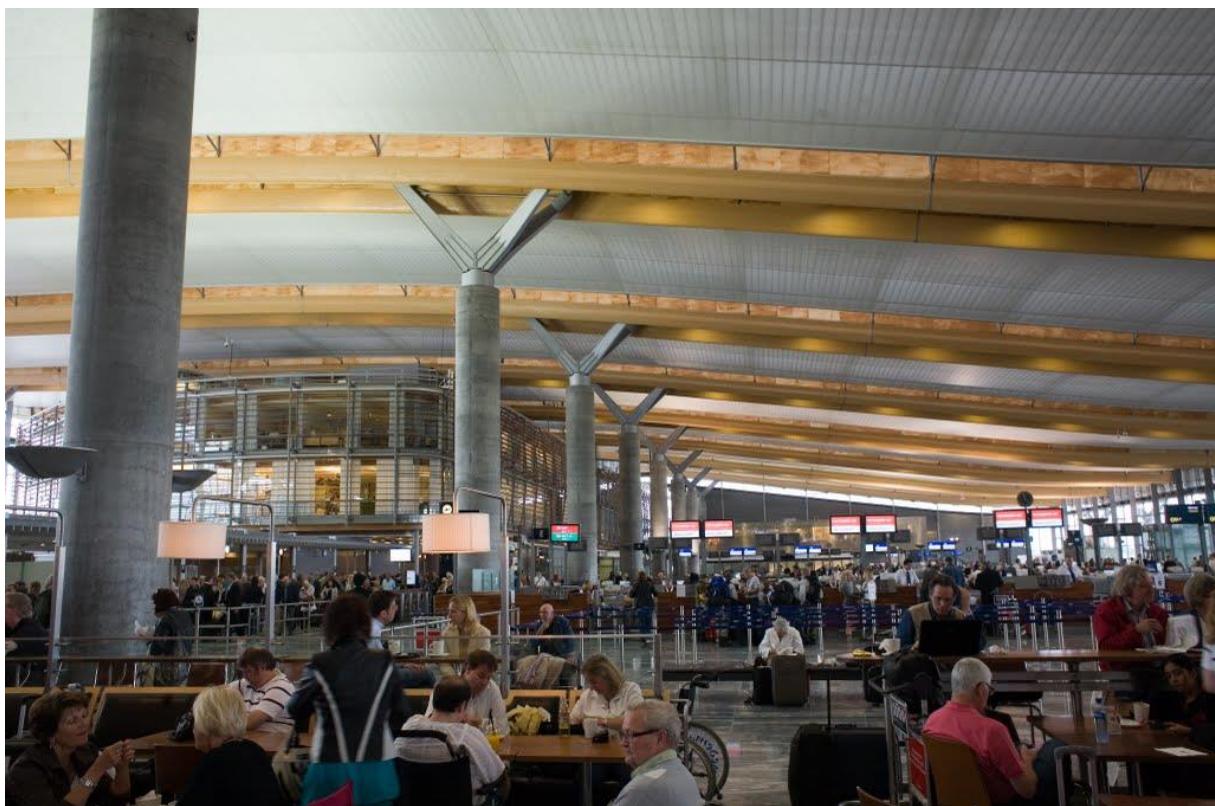
Byggemetoden kan likevel nyttast og vere til inspirasjon då konstruksjonen i seg sjølv er verd å merkje seg. Den er nokså avansert, men enkel i si form. For å ta opp torsjon er det i toppen plassert ein halvsirkelforma bjelke som er understøtta av to tynne søyler i endane. Desse i lag samverkar tilstrekkeleg til å ta opp torsjon frå vindlast på glasoverbygget og fører denne ned i bakken. Glasoverflata er heller ikkje heilt rett og krummar langs etter bygget for å tilpasse seg det den skal dekke over av ruinane. Det fører til eit meir krevjande prosjektering- og monteringsarbeidet, men desto betre resultat.



Figur 73: Domkyrkjeruinane på Hamar med glasoverbygg (Frogner, 2005)

Gardermoen

Eit anna bygg i Norge som er til inspirasjon, er terminalbygget på Gardermoen flyplass. Sjå Figur 74. Her er det nytta store limtrebjelkar i taket for å oppnå stort internt volum. Bygget som er vist på figuren, er frittståande. Einaste interne element som er fast er rada med betongsøyler i midten. Dette gjer at ein får eit stort rom å boltre seg på. Likevel kan det diskuterast om ein ikkje har mista litt av potensialet til rommet. Himlingen er senka ned til underkant av fagverket og limtrefagverket er bygd inne av treplater. I tillegg er fri høgde truleg litt lav. Ein får ikke den opplevinga av det store rommet som det faktisk er, og retninga på personstraumen er tvers på bygget. Hadde ein latt folk komme inn på kortsida, hadde ein mykje lettare fått opplevd kor stort og langstrekt bygget faktisk er.



Figur 74: Oslo flyplassterminal (Longdistancer, 2010)

Terminalbygget viser korleis ein kan sjå for seg frie interne bygg. Prinsippet er mykje det same som på mange andre, større flyplassar. Dei interne bygga er frittståande frå resten av konstruksjonen og står fritt til å endrast ved behov, noko som kan tenkast skjer ganske ofte på ein flyplass.

VI

Interne bygg

Felles for alle desse løysingane; skal, stadion og membran, er at dei skal romme eit eller helst fleire interne bygg. Desse skal vere tilpassingsvennlege og ikkje nødvendigvis måtte stå like lenge som klimaskalet som husar dei. Dei må med andre ord vere lette konstruksjonar som har moglegheit til å endrast etter kort tid om nødvendig. Kanskje kan dei likne på moduloppbygginga som det Google går for på sitt prosjekt, eller kanskje kan det vere bygg som er så enkle at dei lett kan rivast/demonterast og bli erstatta eller flytta. Det vil no bli rekna eit eksempel på kva som skjer med konstruksjonen i eit bygg om det står under eit klimaskal framfor å vere fullt eksponert for vêr og vind.

Parameter som endrast frå inne til ute, gitt att klimaskalet er oppvarma:

- Inne treng ein ikkje ta omsyn til snø- og vindlast.
- Kan få endra klimaklasse ute på grunn av konstruksjon som er direkte eksponert.
- Ein vil inne mest truleg ikkje ha behov for dampsperre.
- Behovet for isolasjon går kraftig ned.
- Ute treng ein windsperre og tett fasade.
- Eit bygg ute må i større grad vere sjølvforsynt med tekniske installasjonar. Inne kan ein installere sentrale anlegg som forsyner fleire bygg.
- Inne er det mindre behov for solskjerming.
- Ein treng i mindre grad tenke på kuldebruer med ein konstruksjon inne som står varmt.
- Det er ikkje behov for eit vîrtett tak inne.
- Ute er det mykje større behov for vedlikehald av tak og fasade.

Alt dette bidreg til eit lettare bygg inne som vil koste mindre å bygge. Material- og arbeidskostnadane går ned. Ein sparer vekt på slankare konstruksjon, mindre isolasjon og anna type tak. Bygga inne kan i tillegg få eit heilt anna visuelt preg. Arkitekten står nokså fritt til å designe opne bygg utan veggar og bruken av vindauge kan auke.

Den største forskjellen for endring av klima i Norsk Standard for Prosjektering av trekonstruksjonar er endringa av klimaklasse. Denne varierer frå klimaklasse 1 til 3, der 3 er det strengaste kravet. Stort sett er reduksjonsfaktoren for klimaklasse 1 og 2 lik, som gjer at eit bygg med kledning som beskyttar berekonstruksjonen ikkje vil ha noko forskjell frå eit bygg som står under eit klimaskal. Forskjellen ser ein først når ein endrar bygget frå eit tradisjonelt bygg til eit som berre kan stå under eit klimaskal, slik som eit utan veggar. Ute vil ein då få klimaklasse 3. Då blir reduksjonsfaktoren vesentleg lågare. Det er ein slik type konstruksjon som vil ligge til grunnlag i rekneekspelelet. Eit tradisjonelt bygg vil også gi tydelege resultat sjølv om klimaklassen forblir uendra, men dette er ikkje like lett å rekne på.

I samanlikninga er det sett på ein bjelke og ei søyle. Lastsituasjonen i dei to tilfella vil potensielt vere veldig forskjellig. Ute vil systemet i tillegg til nytte- og eigenlast kunne kjenne både snø- og vindlast. For å sjå på forskjellen i dimensjon berre basert på klimaklasse vil det bli satt ei lik last. Bjelken vil kjenne ei jamt fordelt last på 10 kN/m og søyla ei punktlast lik 40 kN. Dette inkluderer eigenlast og materialfaktorar. Lengda på bjelken er 5 meter og søyla er 3 meter høg. Utrekninga tar omsyn til broteigenskapar og vil ikkje stette nedbøyingskrav. Sistnemnte blir ikkje kontrollert sjølv om det mest truleg er dimensjonerande. Dette fordi det er tilstrekkeleg å sjå på broteigenskapar når ein skal samanlikne forskjell basert på klimaklasse.

Resultatet, sjå vedlegg 12, viser at ved berre å endre klimaklasse frå 3 til 1 sparar ein éin dimensjon i høgda. Ein kan på bjelken gå frå 2x198mm til 2x173mm med same breidde på 98mm. For søyla kan ein redusere det kvadratiske tverrsnittet frå 123x123mm til 98x98mm. Dimensjonane er basert på standardmål for trebjelkar. Ein kunne med andre ord sett på nøyaktig forskjell ved å sette akkurat nødvendig dimensjon. Det er uvanleg og fordyrande å spesialbestille slike trebjelkar og derfor vart standarddimensjonar valt.

For betong vil også klima påverke dimensjonen i følgje NS-EN 1992-1-1. Kryptalet blir høgare og vi får anna eksponeringsklasse som fører til eit auka overdekningsskrav. For stålkonstruksjonar er det mindre endringar. Den viktigaste forskjellen er i følgje NS-EN 1993-1-1 å korrosjonsbeskytte stål. Dette er oftast gjort med eit tynt belegg av eit anna metall eller maling. Det gjer at dimensjonen ikkje aukar, men prisen kan vere betydeleg høgare.

Sidan ein ikkje «vinn» noko på å velje klimaklasse 1 framfor 2, vil det for vanlege bygg vere mindre å hente på å sette dei under eit klimaskal, basert på denne utrekninga. Den største gevinsten ein då ser er at ein har moglegheit til å lage utradisjonelle bygg. Fjernar ein for eksempel alle veggane, eller lagar rørforma bygg inspirert av Toyo Ito sitt Taichung Metropolitan Opera, vil bilde bli eit anna.

Behov for tilpassingsevne

Tilpassingsevne er noko som berre blir viktigare og viktigare i dagens samfunn. Behovsendringar skjer konstant og det å ha kapasitet for å i møtekomme denne blir viktig. Viktig økonomisk sett, men med auka klimafokus vil det også vere positivt om ein unngår å rive og bygge nytt. Når ein så ser ein bør endre bygget, vil det vere viktig at ein ikkje forstyrrar den dagslege drifta meir enn nødvendig. Fleire bedrifter har dagslege, eller i alle fall månadlege, omsetjingar som overstiger ombyggingskostnadane, og då vil det vere svært viktig å korte ned byggetida.

Oftast er det også slik at ein berre har behov for å endre delar av bygget. Då er det ekstra viktig at ein faktisk har moglegheit for det. Om ein må rive alt for at eit kontorlandskap skal bli kantine har ein bygd seg sjølv eit stort problem. Det kan fort ende i at ombygginga, som er sårt trengt, ikkje finn stad. Det kan blant anna ha stor innverknad på effektiviteten til arbeidarane.

Eit anna viktig aspekt som ikkje er like lett å talfeste er det emosjonelle aspektet med eit bygg. Eigarar, brukarar og besökande kan ha heilt forskjellige oppfatningar av bygget. Det kan for eksempel vere planløysingar, fargar, kunst, inventar og luftkvalitet. Om det blir store irritasjonsmoment kan det gå utover arbeidslyst, effektivitet og til slutt økonomi. Ved å kartlegge dette, finne behov for endring og kunne utføre ombygginga, vil det auke trivsel. Ekstrakostnadane med eit tilpassingsvennleg bygg kan med andre ord vere tilbakebetalt fortare enn forventa.

I tillegg klarer ein ikkje å føresjå alle behov som dukkar opp i framtida. Det å då kunne legge til rette for at bygget kan tilpasse seg endra behov kan vere svært viktig.

Endeleg produkt

Sidan oppgåva har hatt tre fokusområde vil det vere passande med ein diskusjon rundt ei samanstilling av alle delane. Viss ein skal sjå føre seg eit produkt basert på alle desse vil det vere naturleg å sjå for seg ein stor flyplassterminal med få og høge søyler. Desse skal bere eit lystransparent tak. Inne i dette kan ein sjå for seg eit heilt ope volum eller så kan ein lage to plan for å skilje forskjellige bruksfunksjonar. Viss bygget skal brukast som fabrikk og kontor kan ein dele av volumet horisontalt og lage to nokså forskjellige rom. Under, i «kjellaren», vil all produksjon skje og der kan det tenkast at det ikkje er så nødvendig med dagslys. Over kan ein skape ein meir triveleg atmosfære med god mengde dagslys. Her skapast alle idéane og det er her møte med kunden finn stad. Ein får moglegheita til å utforske forskjellige konsept og kan lage små samfunn som kan endrast etter behov. I denne etasjeskiljaren kan ein då legge tekniske føringar som ei TME, som både kan forsyne over- og underliggende etasje.

Om ein ikkje deler av, men skaper eit stort volum vil det opne opp for at ein kan bygge nokså høge bygg. Det kan verke meir imponerande for brukarar og besøkande som skapar arbeidsglede og iver. Sidan bygga står beskytta frå naturlaster (utanom jordskjelv) vil dei potensielt kunne sjå veldig forskjellig ut i forhold til kva vi kjenner til i dag. Det vil mest sannsynleg ikkje vere store forskellar på grunn av arealeffektivitet, men veggar og tak treng i alle fall ikkje vere like robuste.

Uansett val vil det vere viktig at bygga ein set opp er tilpassa bruken og kan vere lette å endre. Idéane i frå kapittelet om Opne rom vil derfor vere viktig å ta med seg inn i dette arbeidet også. Dei interne bygga ein set opp vil då i seg sjølv vere tilpassingsvennlege i tillegg til at romma i dette bygget er enkelt å bruke til fleire funksjonar. Då slepp ein å rive/demontere dei så ofte, noko som i seg sjølv ikkje er å føretrekke, sjølv om bygga er tiltenkt enkel endring. Vidare kan ein tenke seg at det vil vere mogleg å sette opp mange forskjellige bygg, der nokon av dei skal stå lenger enn dei andre. Har ein ei bedrift som har eit breitt arbeidsområde, kan det tenkast at dei treng laboratorium og andre teknikk-krevjande rom. Då kan ein sette opp eit tyngre bygg med TME for å legge til rette for dette. Det treng ikkje rivast så fort sidan det då har god tilpassingsevne «innebygd».

Bortsett frå økonomi vil dei store utfordringane med ei slik løysing vere støy og brannsikkerheit. I tillegg vil truleg mange av løysingane ein treng for å få gjennomført produktet med stort hell enda ikkje vere oppfunne. Det er derfor veldig spennande å sjå om Google får gjennomført prosjektet sitt for å få erfaring frå dette.

Ei endeleg løysing med ei kryssing mellom Googleplex og Nye Istanbul Flyplass kan tenkast å vere ein nokså interessant idé. Tar ein så med seg idéane til Toyo Ito inn i nokon av dei interne bygga, vil ein kunne få skapt eit veldig originalt bygg.

VII

Diskusjon

Denne oppgåva har omtala tilpassingsevne og moglegheita for at bygg står lenge før dei rivast. Helst mykje lenger enn det som er vanleg for bransjen. Det kan vere utfordrande. Ofte er det meir fristande å rive for å få bukt med fleire problem som dukkar opp, og tanken på noko heilt nytt er meir spennande. I mange tilfelle kan ein få inntrykk av at byggherre sparar på utgiftene med byggekostnadane og ikkje tenker like mykje på levetidskostnadane. Dette er ikkje heilt heldig for miljøet då høgt materialbruk ikkje er bra. Ved å ha fokus på levetidskostnadane, kan det også vise seg å faktisk vere lønsamt å legge i ein ekstra investeringskostnad då ein sparar inn denne med gode løysingar, men dette er ikkje studert nok i denne oppgåva til å konkludere på.

For skalkonstruksjonane er det viktig å passe på at dei ikkje blir for tunge. Bygger denne alt for mykje i høgda vil den i tillegg stele mykje lys og det visuelle intrykket blir därlegare. I tillegg er det viktig å dimensjonere taket så det kan bryte saman feltvis. Om heile takkonstruksjonen går i bakken i eitt vil det vere veldig uheldig for alle som oppheld seg under den. Det vil også vere viktig for vedlikehald. Om delar av takkonstruksjonen treng å bytast ut, bør det vere mogleg utan å måtte demontere heile taket.

Stadion-konseptet er ikkje veldig representativt for tilpassingsdyktige bygg og skil seg litt ut i denne oppgåva for svære volum. Likevel er det bygg som har store interne volum og som vart naturleg å ha ei side om for å informere om alternativet. Det er ikkje vidare blitt omdiskutert og temaet er så vidt rørt ved. Viktige aspekt å hente frå desse er i hovudsak berekonstruksjonen. Denne er ofte bygd opp av lange spenn og store dimensjonar. Dei kan dermed gi inspirasjon til korleis ein kan lage store interne volum.

Når ein ser på teknisk mellometasje, vil val av etasjeskiljarar vere av betyding. Til og frå eit teknisk rom treng ein store moglegheiter for å kunne trekke føringar. Det å kunne bore hol i golvet, eller taket, på etasjeskiljaren vil derfor vere viktig. Etterspent betong vil då kanskje ikkje vere like lurt, sidan det er ein meir krevjande prosess å bore hol her. I tillegg vil val av beresystem vere avgjerande for kor lett ein kan trekke føringar. Eit fagverk har store opningar i seg og gjer det mogleg å trekke mykje utstyr igjennom. Det er derfor det i denne oppgåva berre har blitt fokusert på ei slik løysing. Likevel kan det vere nokså i vegen for transport av personar og stort utstyr. Stavane i fagverket vil kunne skape store hindringar og plasseringa av fagverket vil dermed få stor betyding for tilkomsten på TME.

Mange av dei idéane som har blitt presentert i oppgåva vil krevje større investeringskostnadar enn tradisjonelle bygg. Likevel treng det ikkje bety at ikkje pengane er brukte på ein god måte. For det første kan ein få eit betre bygg der brukarane trivast betre. Bygget kan vare lenger eller legge betre til rette for variert bruk. I tillegg til alt dette er der også ei moglegheit for at bygget blir eit landemerke i større grad enn viss det blir bygd tradisjonelt. Der er mange eksempel rundt om i verda der ein har brukta ekstra pengar på god arkitektur utan å få dette direkte tilbakebetalt i sparte pengar. Likevel har det skapt ei verdiauke. Det kan vere fordi bygget har blitt ein turistmagnet eller at arkitekturen har forsterka merkevarenamnet til bedrifta. Får ein mykje og god omtale kan det vise seg å vere vel verdt investeringane. Det blir derfor ikkje like lett å konkludere på om ei investering er direkte lønsam. Mange av desse faktorane er også svært vanskelege å føresjå, men ein vil ikkje finne ut av det utan å prøve.

Alle analysane som er gjort i oppgåva, er som fleire gongar sagt, ikkje fullstendige. Spesielt verkar det noko rart at ein får ein lineær samanheng mellom bjelkehøgde og spenn. Ser ein utelukkande på momentkapasiteten, vil momentet fire doblast om ein doblar spennet. Det kan derfor tenkast at bjelkehøgda burde auke betrakteleg meir, og det er dermed rart at det var skjærkapasiteten som vart dimensjonerande for trebjelken. For lastareal vart det etter kvart nedbøyingskrav som blei dimensjonerande, og momentkapasitet var aldri eit problem.

Grunnen til at analysane viser det dei gjer, er nok fordi ein får forskjellige dimensjoneringskrav alt etter spennet på bjelken. I tillegg har ein for dei små spenna ikkje små nok dimensjonar på bjelken, og breidda er satt lik for trebjelkane. Det blir litt kunstig, og gjer at ein får dei kurvene som vist under kapittelet om Analyse av interne spenn. I realiteten er det naturleg å tenke seg at korrelasjonen er ein annan.

Ser ein til dei forskjellige kjerneløysingane som er presentert i oppgåva, er dei nokså fokusert mot høgreiste bygg. Dette har nok mykje å gjer med arbeidet som blei gjort i haust med prosjektoppgåva. Her var det skysraparar som stod sentralt, og det vart naturleg å berre studere forskjellige løysingar for desse. I Norge i dag har vi ikkje så alt for mange skysraparar og kjerneløysingar for breiare bygg hadde truleg vore meir relevant å studere. Her har ein gjerne mange fleire kjernar plassert rundt om i bygget for å sørge for god nok transportflyt og tilgang på teknisk utstyr over heile bygget. Likevel er det enklare å framstille dei forskjellige alternativa slik det er gjort her, og det framstår noko ryddigare. Det er uansett prinsippa som er viktige å få fram.

Dei opphengde etasjane som er omtala er nokså utradisjonelle. Det gjeld også Svære volum. Med slik form for arkitektur treng ein både arkitektar og ingeniørar som ønskjer å samarbeide, i tillegg til ein byggherre som ønskjer «noko anna». Desse løysingane er ikkje sikkert dei er dei mest berekraftige løysingane, men dei skapar noko nytt. Forhåpentlegvis er der likevel eit potensial i Svære volum som kan skape både tilpassingsvennlege og berekraftige bygg. For Opphengde etasjar i TME er det verdt å merke seg at ein får ein «dobel» konstruksjon. Ved at ein henger opp etasjane vil konstruksjonen først gå «oppover» før den må gå ned igjen i anna bering, fortrinnsvis i fasade med bruk av diagrid. Likevel blir den ikkje dobbelt så plasskrevjande sidan ein brukar strekkstag. Desse blir nokså slanke, og den ekstra vekta ved denne løysinga treng ikkje bety at fasadeberinga blir veldig mykje tyngre.

Ingeniørarkitekturen i denne oppgåva er også noko som er verd å diskutere. Mange av bygga som er presentert hadde ikkje vore mogleg utan eit større fokus på samarbeid mellom fagfelta. Det verkar som det blir meir og meir av dette i nyare tid, og det er veldig bra. Ein får gjennom stadig aukande materialval moglegheit for nye utføringar og andre konsept. Utan eit samarbeid vil dette potensiale bli drastisk mindre og det er derfor viktig å fortsatt satse på eit tett samarbeid. Mange ser på byggbransjen som noko konservativ, og for mange ingeniørar er det nok mykje rutine som blir utført. Det er derfor bra med nye innspel og idéar frå både arkitektar og andre fagfelt. Kroneksempelet på det er Auditoriet i Utrecht, men der er også mange andre positive erfaringar å vise til når arkitektar og ingeniørar møtast tidleg i prosjektet.

Vurdering av prosessen

I frykt for å misse oversikket på oppgåva har det vore vanskeleg å vite på kva del ein kunne ta eit djupare dykk i empirien. Det har ført til at det ikkje har blitt gjort nokon store analyser av visse konstruksjonar. Ein kan diskutere om det har vore mindre bra for oppgåva, då ein ikkje har fått nokon eintydige resultat å vise til. Fleire gongar gjennom oppgåva har tanken på ei oppgåva med eit meir definert mål vore freistande. Der ein kan dykke djupt i materien, finne svaret ein er på jakt etter og diskutere resultatet. På mange måtar har det verka som ein rettare vei å gå. Når det er sagt verkar det også som ein meir keisam vei å gå. Det å berre fokusere på eit resultat som ein truleg ikkje får dra nytte av seinare i livet er ikkje like spennande.

Etter fleire rundar for å finne satsingsfelt for resultat, har eg kome fram til at det er sjølv prosessen med å skrive ei masteroppgåve som er viktig. Eg har brukt mykje tid på å finne litteratur, lest bøker og artiklar i tillegg til å søke etter relevante referansebygg. Det er kunnskap som eg heilt klart kjem til å ta med meg. God arkitektur vekker stor interesse i meg og eg har gjennom både prosjekt- og masteroppgåva fått bruke mykje tid på å analysere desse på mange felt. Det gjer meg betre skikka til å trekke fram og diskutere viktige aspekt med dagens bygg. Eg har fått ei vidare forståing for bygg utover konstruksjonen og kan i større grad klare å identifisere arkitekten og byggingeniøren sin tanke bak byggverket.

Hadde eg starta på oppgåva på nytt, hadde eg satt av mindre tid til teknisk mellometasje. Slik som oppgåva utarta seg, hadde det vore tilstrekkeleg å forklart kva TME er og kva den kan brukast til, i tillegg til nokre moglege løysingar på den. Eg hadde i starten ein god idé om kva TME var, men brukte mykje tid på å lese meg opp, finne referansebygg og kontakte personar. Sjå vedlegg 13. Dette var vel og bra då eg jobba med det, men eg har ikkje klart å dra nytte av det i stor nok grad i oppgåva. Derfor hadde det vore tilstrekkeleg å berre diskutere bruken av TME opp mot superetasjar og heller gitt meir tid til Opne rom og Svære volum.

På grunn av naturen i denne oppgåva er det også mindre lett å gi ein konklusjon. Dette er noko eg har diskutert med Bendik Manum. Den største utfordringa er at eg eigentleg ikkje har den fullstendige kompetansen til å gjere dette. Sidan oppgåva omtalar kryssingsfeltet mellom arkitektur og konstruksjon, har eg ikkje opparbeida meg nok erfaring til å tolke bygg basert på begge desse felta. Det blir derfor ikkje rett av meg å seie at ei presentert løysing vil vere den beste. Konklusjonen på denne oppgåva blir derfor å presentere dei forskjellige tankane rundt omtala tema så det kan danne eit vidare grunnlag for andre.

For meg har denne oppgåva vore ein veldig innhaldsrik prosess og den har danna eit godt grunnlag for at eg kan uttale meg konstruktivt om ingeniørarkitektur ved eit seinare høve. Eg har sett stor pris på at eg som student har hatt høve til å bruke tid på ei så pass utradisjonell oppgåve. Arbeidet med oppgåva har gitt meg erfaringar som gjer at eg som byggingeniør kan samarbeide og forstå arkitektar på ein betre måte i arbeidslivet.

Konklusjon

Som tidlegare nemnt har denne oppgåva ikkje gitt eit eintydig resultat, men det kan likevel trekka fram følgjande konklusjonar:

- Val av kjerneløysing vil vere avgjerande for transportflyt av menneske og tekniske føringar i eit bygg. Det kan også ha stor betyding for kva løysing som er best basert på talet på leigetakrar.
- Val av kjerne vil påverke korleis konstruksjonen elles i bygget blir. Vil ein ha superetasjar kan ei endekjerne opne bygget mykje meir opp kontra bruken av senterkjerne.
- Ser ein til sjukehus er endringsraten betydeleg auka dei siste åra, og ingenting tydar på at dette vil avta med åra som kjem. Det vil derfor vere viktig å ta omsyn til endring i framtidige bygg.
- Teknisk mellometasje er i alle studerte prosjekt vist seg å vere positivt. Det som kan vere av negative sider er knytt opp mot økonomi. Sidan ein legg til ei ekstra etasje vil dette koste meir, men studiar viser at dette kan bli tilbakebetalt gjennom drifta til bygget.
- Vertikal tilpassingsevne er mindre utforska i dagens bygg og kan vere eit satsingsfelt for meir originale bygg. Superetasjar legg til rette for dette og kan skape andre volum og nye typar rom.
- Superetasjar kan òg slåast saman med teknisk mellometasje og gi bygget betre tilpassingsevne.
- Omplassering av søyler i eit rom og auke spenna mellom søylene treng ikkje nødvendigvis bety for drastiske endringar på bjelkedimensjonen. Ei dobling i spenn treng ikkje bety ei dobling av bjelkehøgda. Sjølv om det verkar noko rart, viser analyser til ein lineær samanheng mellom bjelkehøgde og spenn.
- Å auke spennet i begge retningar vil føre til ein tilnærma eksponentiell vekst i bjelkehøgde og har mykje meir å sei for opptatt areal for konstruksjonen.
- Svære volum har eit potensial til å lage ein ny type bygg som kan sette standarden for tilpassingsvennlege bygg i framtida. Ved å lage store klimaskal kan ein sette opp lettare interne bygg som kan endrast raskare over tid. Gode eksempel på dette i dag er store flyplassterminalar.
- Det er eit generelt behov for tilpassingsvennlege bygg i dag og eit større fokus på dette kan vere bra for levetidskostnadane sjølv om investeringskostnadane er høgre. Totalt sett kan det derfor vere ei klok investering, men det er ikkje vurdert nok i denne oppgåva.

Vidare arbeid

Denne oppgåva har danna eit grunnlag for vidare arbeid. Alle tema kan ha godt av fleire analyser for å danne eit meir korrekt bilde på diskuterte tema.

For tekniske mellometasjar vil det vere aktuelt å sjå på fleire former på utforming. Det vart diskutert med Svein Bjørberg om dette kunne vere eit satsingsfelt for denne oppgåva, men då det passa mindre bra med resterande tema, vart det ikkje gjort. På grunn av dei ulempene som blei nemnde tidligare under Diskusjon, vil derfor andre løysingar vere av interesse å studere. I tillegg vil val av dekke rundt teknisk mellometasje vere mogleg å sjå meir på. Det vil vere viktig for å få utnytta TME best mogleg.

For Opne rom vil det vere naturleg å gjere mange fleire analyser for å sjå om den samanhengen som er funne i denne oppgåva stemmer med realiteten. Det vil også vere bra om ein får utvida analysen med fleire kontrollar. Slik den er gjort no er det berre med kontroll av vanlege dimensjoneringskrav og kan vere feil. Vertikal tilpassingsevne er eit veldig spennande tema som det med fordel kan forskast meir på. Dette er eit felt som ikkje har særleg fokus i dagens bransje, men som kan vere eit satsingsområde for å skape originale bygg.

Sidan Svære volum er lite utbreidd, er det kanskje aller viktigast å arbeide vidare på dette feltet. Googleplex vart nedstemt på grunn av manglande teknologi for å gjennomføre prosjeket, så berre det vil vere ei oppgåve i seg sjølv å få løyst. Vidare trengs det meir arbeid med dei interne bygga for å få utnytta denne moglegheita. Det er ikkje så mange bygg i dag som vert bygd med eit vernande klimaskal over seg. Dette gjer at byggeteknikken vi brukar vil likne mykje på den vi finn for bygg ute. Det er kanskje ikkje nødvendig. Potensielt kan ein lage heilt nye typar bygg her.

Til slutt vil økonomi vere eit område som bør få mykje større fokus enn det har fått her. Så godt som alle byggeprosjekt i verda i dag har ei økonomisk ramme. Viss ein ikkje klarer å halde seg innanfor denne, kan ting gå veldig gale. Det vil derfor vere essensielt å vite kva økonomisk gevinst eller ekstrakostnad ein vil få med omtalte løysingar. Både bygkekostnadar og levetidskostnadar bør få fokus. Dersom ein ser på kvar av dei separat, vil ein ikkje få korrekt bilde og feil løysing kan bli valt.

VIII

Kjelder

- Alexander, S., & Vinje, L. (2010). *Betongelementboken bind A* (4 ed.): Betongelementforeningen.
- ANS, T. S. O. (2005). Forprosjekt Kliniske Arealer Byggefase 2.
- Architecture, N.-O. o. (2013). Istanbul New Airport. Retrieved 09.04.2015, from
<http://nordicarch.com/istanbul-new-airport#info>
- Arge, K., & Landstad, K. (2002). Generalitet, fleksibilitet og elastisitet i bygninger. *Byggforsk*.
- Arttattler. (2008). A Reconsideration of Universal Paradigms in Science and Humanities. Retrieved 24.04.2015, from <http://arttattler.com/architecturebuckminsterfuller.html>
- Arttattler. (2011). Bucky Fuller's Autodidactic Explorations of Multi- and Cross-Disciplines. Retrieved 24.04.2015, from <http://arttattler.com/architecturebuckminsterfuller.html>
- Bachman, L. R. (2003). *Integrated Buildings*: John Wiley & Sons
- Badura, K., Dybwad, L., & Gjonbalaj, A. (2014). *Richard Rogers - Lloyd's building*. Rapport tilgjengeleg fra It's Learning. Henta 05.10.2014. NTNU.
- Badura, K., & et.al. (2014). Richard Rogers. Rapport til gruppe 3 fra prosjektoppgåva. Tilgjengeleg fra It's Learning. Henta 5.10.2014.
- BIG, Studio, H., Architecture, S., & Sera. (2015). Project Plans - All Sites. Retrieved 27.04.2015, from http://www.mountainview.gov/depts/comdev/planning/activeprojects/north_bayshore_bon_us_far/bonus_far_requests.asp
- Bjørberg, S., & Verweij, M. (2009). Life-cycle economics: Cost, functionality and adaptability. In B. Rechel, S. Wright, N. Edwards, B. Dowdeswell, & M. McKee (Eds.), *Investing in Hospitals of the Future*. United Kingdom: European Observatory on Health Systems and Policies.
- Buchanan. (2013). *Presentasjon: Structural design for fire safety - Timber*. NTNU.
- Building, T. L. (udatert). Construction. Retrieved 05.06.2015, from <http://www.theleadenhallbuilding.com/galleries/construction-2/>
- Bygg.no. (2008). Nye Ahus. Retrieved 09.02.2015, from <http://www.bygg.no/article/29219?image=dp-image591-1126565>
- Chéron, M. (2014). Center Pompidou. Retrieved 08.06.2015, from <http://wallfoy.com/centre-pompidou-29-338560-wallpapers-HD.html>
- CO, B., Multiconsult, IGP, Lekven, E., & Consult, T. (1990). Nytt Rikshospital: Tekniske kravspesifikasjoner, bruk av tekniske mellometasjer. *Statens bygge- og eiendomsdirektorat*.
- Designboom. (2010). Toyo Ito: Taichung Metropolitan Opera. Retrieved 27.04.2015, from <http://www.designboom.com/architecture/toyo-ito-taichung-metropolitan-opera/>
- Enochlau. (2006). Sydney Opera House. Retrieved 24.04.2015, from http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sydney_Opera_House_Sails.jpg
- Finocchiaro, L. (2014). *Presentasjon: Analysing high-rise architecture*. 10.09.2014. NTNU.
- Fort, M. L. (2014). Autoban's new interior at Baku's Heydar Aliyev Internation Airport is a sleek departure. Retrieved 23.02.2015, from <http://www.wallpaper.com/architecture/autobans-new-interior-at-bakus-heydar-aliyev-international-airport-is-a-sleek-departure/7685#101887>
- Fortidsminneforeningen. (2000). Årbok 2000 Norsk sykehusharkitektur (pp. 242).
- Fosse, D. (2013). Permanenten. Retrieved 09.02.2015, from <http://okaw.no/prosjekter/>
- Frogner, T. (2005). Domkirkeruinene-Hamar. Retrieved 06.03.2015, from <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Domkirkeruinene-Hamar.jpg>
- Google. (2015a). Google's Proposal for North Bayshore. Retrieved 06.03.2015, from <https://www.youtube.com/watch?v=z3v4rlG8kQA#t=189>
- Google. (2015b). North Bayshore campus proposal. Retrieved 06.03.2015, from <https://plus.google.com/photos/+google/albums/6120564551779148881>
- Hatch, A. (1974). *Buckminster Fuller: At Home in the Universe*.
- Haugen, H., & Mysen, M. (2001). 379.310 Plassbehov og plassering av tekniske rom for ventilasjonsanlegg. *SINTEF Byggforsk*.
- Inman, M., Almeida, R., Colas, M., & Tveit, A. R. (2014). *The Leadenhall Building*. Rapport tilgjengeleg fra It's Learning. Henta 26.11.2014. NTNU.

- Institutt for konstruksjonsteknikk, N. (2003). *Stålkonstruksjoner - Profiler og former* (3 Ed.): tapir akademiske forlag.
- Irgens, F. (2005). *Statikk* (7 ed.): tapir akademisk forlag.
- Kallmyr, K. (2004). Utforming av fremtidas intensivenheter. *HMT*, 3.
- Kim, E. (2010). Toyo Ito: wins praemium imperiale + exhibition at venice biennale 2010. Retrieved 27.04.2015, from <http://www.designboom.com/architecture/toyo-ito-wins-praemium-imperiale-exhibition-at-venice-biennale-2010/>
- Knarud, J. I. B. (2013). *Presentasjon: Structural Fire Safety Design - Concrete*. 04.04.2013. NTNU.
- Laboratory, S.-E. C. F. C. (2014). Cool technology for Singapore's most energy efficient office. Retrieved 28.04.2015, from <http://www.eco-business.com/news/cool-technology-singapores-most-energy-efficient-office/>
- Larsen, O. P., & Tyas, A. (2003). *Conceptual Structural Design*: Thomas Telford.
- Larsen, P. K. (2008). *Konstruksjonsteknikk - Laster og bæresystemer* (2 ed.): tapir akademiske forlag.
- Letting, C. H. (2013). *Betydningen av tilpasningsdyktige bygg for effektive helsestjenester*. NTNU. Retrieved from http://www.metamorfose.ntnu.no/Masteroppgaver/Ord-master2013/CharlotteHellernLetting_Masteroppgave_fulltid-bygg_2013.pdf
- List, S. B. (2014). Lucas Oil Stadium - Indianapolis Colts. Retrieved 23.02.2015, from <http://sportsbucketlist.net/nfl-stadiums/lucas-oil-stadium-indianapolis-colts/>
- Lloyd's. (2011). INTERIOR IMAGES. Retrieved 24.05.2015, from <https://www.lloyds.com/lloyds/about-us/the-lloyds-building/images-of-the-lloyds-building/interior-images>
- Longdistancer. (2010). Oslo Airport terminal. Retrieved 06.03.2015, from <http://www.panoramio.com/photo/43206670>
- McKenzie, A. (2013). Beijing Opera House Design. Retrieved 06.03.2015, from <http://angelamckenzedesign.blogspot.no/2013/06/beijing-opera-house-design-paul-andreu.html>
- McKittrick, K. (2010). Sendai Mediatheque. Retrieved 24.04.2015, from <https://kmckittrick.wordpress.com/sendai-mediatheque-toyo-ito-kevin-mckittrick/>
- Miller, R. L., Swensson, E. S., & Robinson, J. T. (2012). *Hospital and Healthcare Facility Design*.
- Multiconsult. (2013). MultiMap.
- Multiconsult. (udatert). Oscar - Increasing value. Retrieved 26.04.2015, from <http://www.oscarvalue.no/om-oscar-prosjektet>
- Nordic, & Grimshaw. (2015). *Technical Design - New Istanbul Airport*.
- O'Rourke, L. (2011). The Leadenhall Building. London. UK. Retrieved 26.05.2015, from <http://www.laingorourke.com/our-work/all-projects/the-leadenhall-building.aspx>
- Olsen, S. J., & Garathun, M. G. (2015). Slik får de plass til tre etasjer der det vanligvis bare er to. Retrieved 28.04.2015, from <http://www.tu.no/bygg/2015/02/08/slik-far-de-plass-til-tre-etasjer-der-det-vanligvis-bare-er-to>
- OMA. (1997). EDUCATORIUM, NETHERLANDS, UTRECHT. Retrieved 20.05.2015, from <http://www.oma.eu/projects/1997/educatorium/>
- OMA. (udatert). Los Angeles County Museum of Art. Retrieved 23.02.2015, from <http://www.buroos.com/los-angeles-county-museum-of-art/>
- Peck, R. L. (2010). How MEP Design Keeps Up With the Trends. Retrieved 27.02.2015, from <http://www.healthcaredesignmagazine.com/building-ideas/how-mep-design-keeps-trends?page=show>
- Perez, A. (2010). AD Classics: Centre Georges Pompidou / Renzo Piano + Richard Rogers. Retrieved 08.06.2015, from <http://www.archdaily.com/64028/ad-classics-centre-georges-pompidou-renzo-piano-richard-rogers/>
- Planetden. (2014). Lloyds Building. Retrieved 16.11.2014, from <http://planetden.com/wp-content/uploads/2014/04/lloyds-building.jpg>

- Qvale, P. (2015). Google vil bygge nytt gigantkontor. Men teknologien de trenger finnes ikke. Retrieved 08.05.2015, from <http://www.tu.no/bygg/2015/05/07/google-vil-bygge-nytt-gigantkontor.-men-teknologien-de-trenger-finnes-ikke>
- Security, I. L. (2014). May 2014 - Broadgate Estates chooses Incentive Lynx for iconic new London development. Retrieved 16.03.2015, from <http://www.incentive-lynx.com/pages/news-items/may-2014---broadgate-estates-chooses-incentive-lynx-for-iconic-new-london-development.php>
- Seifert, M. (2012). Holon Design Season 2012/2013 Opens September 1st. Retrieved 20.05.2015, from <http://www.midnighteast.com/mag/?p=21111>
- Shah, V. (2014). Cool technology for Singapore's most energy efficient office. Retrieved 28.04.2015, from <http://www.eco-business.com/news/cool-technology-singapores-most-energy-efficient-office/>
- Stathaki, E. (2013). Checking into Studio Fuksas' new terminal at Shenzhen Bao'an International Airport. Retrieved 23.02.2015, from <http://www.wallpaper.com/architecture/checking-into-studio-fuksas-new-terminal-at-shenzhen-baoan-international-airport/7004#90789>
- Sveiven, M. (2013). Flashback: Sendai Mediatheque / Toyo Ito. Retrieved 21.05.2015, from <http://www.archdaily.com/118627/ad-classics-sendai-mediatheque-toyo-ito/>
- Traub, C. (2007). An Inside View of the Centre Pompidou. Retrieved 08.06.2015, from <http://goparis.about.com/od/picturesofparis/ig/Beaubourg-Neighborhood-Gallery/Inside-the-Centre-Pompidou.htm#step-heading>
- Utrecht, W. U. (2010). Educatorium - Uithof. Retrieved 24.04.2015, from <http://www.fi.uu.nl/nmc2010/locatie.html>
- Valen, M. S., & Larssen, A.-K. (2006). Adaptability of hospitals—Capability of handling physical changes.
- Verderber, S., & Fine, D. J. (2000). *Healthcare Architecture in an Era of Radical Transformation*.
- Viracon. Cowboys Stadium. Retrieved 23.02.2015, from <http://www.viracon.com/projects/view/id/580>
- Wallpaper. (2007). Retrieved 16.11.2014, from http://assets.wallpaper.com/wallpaper/live/galleryimages/17050184/gallery/testuser5_nov2_007_06_170_0179_1_M_hXay0w_eJaqmx.jpg
- Wong, C. (2012). Educatorium. Retrieved 24.04.2015, from <https://onthemovedenmark.wordpress.com/2012/03/02/educatorium-oma-rem-koolhaas/>
- Wu, D. (2014). Singapore's mammoth new Sports Hub reaches completion. Retrieved 23.02.2015, from <http://www.wallpaper.com/architecture/singapores-mammoth-new-sports-hub-reaches-completion/7729#102464>
- Young, A., Annereau, N., Butler, A., & Brian, S. (2013). The Leadenhall Building, London. Retrieved 17.03.2015, from <http://www.ctbuh.org/LinkClick.aspx?fileticket=NVI7BoUcjY%3D&tabid=1090&language=en-GB>
- Zeidler, E. H. (2013). *Buildings cities life: an autobiography in architecture*.

Vedlegg

1 – Betongdekket over auditoriet i Utrecht

Betongdekket over auditoriet i Utrecht

$$l := 21 \text{ m} \quad I_x/I_y = 2 \quad \nu := 0.2 \quad C35/45 \quad B500NC \quad c_{nom} := 35 \text{ mm}$$

$$\sigma_c := \frac{0.85 \cdot 35 \text{ MPa}}{1.5} = 19.833 \text{ MPa} \quad f_{yd} := \frac{500 \text{ MPa}}{1.15} = 434.783 \text{ MPa}$$

Nyttelast på gulv etter NS-EN 1991-1-1 Tabell 6.1 og 6.2: Kategori B

$$q_k := 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Eigenvekt av betongdekket etter NS-EN 1991-1-1 Tabell A.1:

$$\gamma_C := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad p_{kb} := \gamma_C \cdot 0.2 \text{ m} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

I tillegg vil det bli ein del armering i betongen som aukar eigenvekta. Antar: $p_k := 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

NS-EN 1990 Tabell NA.A1.2(B):

Tabell NA.A1.2(B) – Dimensjonerende verdier for laster (STR/GEO) (Sett B)

Vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner	Permanente laster		Dominerende variabel last (*)	Øvrige variable laster (*)
	Ugunstig	Gunstig		
(Ligning 6.10a)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} \psi_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{Q,i} Q_{k,i}$
(Ligning 6.10b)	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{Q,i} Q_{k,i}$

(*) Variable laster er de som er oppført i tabell NA.A1.1

MERKNAD 1 Det brukes følgende sett med γ - og ξ -verdier ved bruk av uttrykk 6.10a og 6.10b:

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35;$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00;$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ hvis ugunstig (0 hvis gunstig);}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ hvis ugunstig (0 hvis gunstig);}$$

$$\xi = 0,89,$$

(I Norge brukes 6.10a og 6.10b, slik at $\xi \gamma_G = 0,89 \times 1,35 = 1,20$).

$$Q_1 := (1.35 \cdot p_k + 1.5 \cdot 0.7 \cdot q_k) = 11.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_2 := (1.2 \cdot p_k + 1.5 \cdot q_k) = 11.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{Ed} := Q_2$$

Dim. moment etter Tabell 3.1.1 i TKT4222 Concrete Structures 3 Compendium (NTNU):

$$M_x := \frac{Q_{Ed} \cdot l^2}{10.4} = 496.125 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

$$M_y := \frac{Q_{Ed} \cdot l^2}{40.3} = 128.032 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

$$M_{Edx} := M_x + 0.2 \cdot M_y = 521.731 \frac{kN \cdot m}{m}$$

$$M_{Edy} := M_y + 0.2 \cdot M_x = 227.257 \frac{kN \cdot m}{m}$$

Antar armering med diameter 20 mm:

$$d_x := 200 \text{ mm} - c_{nom} - \frac{20}{2} \text{ mm} = 155 \text{ mm} \quad d_y := d_x - 20 \text{ mm} = 135 \text{ mm}$$

Momentkapasitet etter formelsamling i TKT4222 Concrete Structures 3 (NTNU):

$$M_{Rdx} := 0.275 \cdot \sigma_c \cdot 1 \frac{m}{m} \cdot d_x^2 = 131.036 \frac{kN \cdot m}{m}$$

$$M_{Rdy} := 0.275 \cdot \sigma_c \cdot 1 \frac{m}{m} \cdot d_y^2 = 99.402 \frac{kN \cdot m}{m}$$

$$z_x := \left(1 - 0.17 \cdot \frac{M_{Edx}}{M_{Rdx}}\right) \cdot d_x = 50.085 \text{ mm}$$

$$z_y := \left(1 - 0.17 \cdot \frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right) \cdot d_y = 82.531 \text{ mm}$$

Nødvendig armering:

$$A_{sx} := \frac{M_{Edx}}{z_x \cdot f_{yd}} = (2.396 \cdot 10^4) \frac{\text{mm}^2}{m} \quad A_{sy} := \frac{M_{Edy}}{z_y \cdot f_{yd}} = (6.333 \cdot 10^3) \frac{\text{mm}^2}{m}$$

Dette gir ei heilt urealistisk armeringsmengde som ein vil ha problem med å plassere i betongen. Ein må altså få auka z. Den vanlege metoden er å auke betonghøgda, men i dette tilfellet var ikkje det ønska. Ein aukar då z ved å plassere armeringa utanfor betongen. For å sjå kor stor innverknad dette gir blir z-verdien satt til 1 meter som ca er tilfelle for auditoriet i Utrecht.

$$z_x := 1 \text{ m} \quad A_{sx} := \frac{M_{Edx}}{z_x \cdot f_{yd}} = (1.2 \cdot 10^3) \frac{\text{mm}^2}{m}$$

$$\frac{1.2 \cdot 10^3}{2.396 \cdot 10^4} = 0.05 \quad \text{Ein nokså stor reduksjon med andre ord!}$$

2 - E-post fra Per W. Torgersen om TME 12.mars 2015

Hei!

Vi har tekniske mellometasjer i hovedbygget i Kristiansand som stod ferdig i 1990.

Vi har ingen uttalt strategi for TME, og har i liten grad benyttet det andre steder (mindre bygg).

Erfaringene i byggeperioden 1987-90 vare kun positive. Enklere fremføring av teknikk og større arbeidsrom medførte en klar – men ikke tallfestet – reduksjon i byggetid.

Ved senere ombygginger har TME bidratt til at driften i underliggende avdelinger har blitt vesentlig mindre forstyrret enn de ville ha blitt uten TME.

Selv om noen av våre TME etter hvert er blitt ganske fulle, oppleves det fremdeles som meget gunstig å kunne jobbe med utskiftinger og oppgraderinger av teknikk i TME, - relativt god plass og lite forstyrrelser.

Jeg har ikke data på merkostnadene ved bygging av TME hos oss, og heller ingen dokumentasjon av de vurderinger som ble gjort forut for byggingen.

Med vennlig hilsen

Per W. Torgersen

Teknologidirektør | +47 91 86 22 19 | per.torgersen@sshf.no



Postboks 416, 4604 Kristiansand | www.sshf.no

3 - Lastrekning av modell for samanlikning av strekkstag og søyle

Lastrekning av modell for samanlikning av strekkstag og søyle

Eigenlast betongdekke etter Betongelementboken
2010 bind A etter figur A 4.2: 200 mm

$$p_k := 2.6 \frac{kN}{m^2}$$

Nytelast på gulv etter Tabell 2: $q_k := 4 \frac{kN}{m^2}$ Lastareal: $A := 49 m^2$

Kvar superetasje skal bære fire etasjer:

1 etasje: $Q_1 := 1.25 \cdot (1.5 \cdot q_k + 1.2 \cdot p_k) \cdot A = 558.6 kN$

Konstaten 1.25 får vi fra jevnt fordelt last over feltmidt.
Henta fra Tabell 3.5 i Stålkonstruksjoner - Profil og Formler

4 etasjer: $Q_4 := 4 \cdot Q_1 = (2.234 \cdot 10^3) kN$

Ser først på søyle av betong: $\gamma_c := 25 \frac{kN}{m^3}$ etter NS-EN 1991-1-1 Tabell A.1

Dimensjonering av betongsøyle etter NS-EN 1992-1-1:

Betongsøyletversnitt: $A_c := \pi \cdot 200^2 mm^2 = 0.126 m^2$

Eigenvekt av ei søyle: $p_{bs} := 4 m \cdot A_c \cdot \gamma_c = 12.566 kN$

Totallast på søyle: $N_{Ed} := Q_4 + 1.2 \cdot 4 \cdot p_{bs} = (2.295 \cdot 10^3) kN$

3.1.6 (1): Velger B35: $f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{35 MPa}{1.5} = 19.833 MPa$

Trykkspenning: $\sigma_{cd} := \frac{N_{Ed}}{A_c} = 18.261 MPa$ $f_{cd} \geq \sigma_{cd} = 1$ OK for trykk

Sjekker så med kombinert moment og normalkraf basert på minste eksentrisitet:

6.1 (4): $h_c := 400 mm$ $e_0 := \frac{h_c}{30} = 13.333 mm$

$M_{Ed1} := N_{Ed} \cdot e_0 = 30.596 kN \cdot m$

Bruker m-n-diagram fra "Betongkonstruksjoner" av Sørensen og finn:

$$n_1 := \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot 35 MPa} = 0.522 \quad m_1 := \frac{M_{Ed1}}{A_c \cdot 400 mm \cdot 35 MPa} = 0.017$$

Dette gir $w=0$. Sjekker opp mot støttemoment:

$M_{Ed2} := 0.125 \cdot (1.5 \cdot q_k + 1.2 \cdot p_k) \cdot A \cdot 7 m = 391.02 kN \cdot m$

$n_2 := n_1 \quad m_2 := \frac{M_{Ed2}}{A_c \cdot 400 mm \cdot 35 MPa} = 0.222$ Som gir $w=0.74$

Treng armering, men $w < 1$ så størrelsen på søyla virkar OK.

Konstanten 0.125 får vi fra jevnt fordelt last over feltmidt.

Henta fra Tabell 3.5 i Stålkonstruksjoner - Profil og Formler

Sjekkar knekking med konservativ knekk lengde lik L:

$$E := 34 \text{ GPa} \quad \text{etter Tabell 3.1} \quad I := \frac{\pi \cdot h_c^4}{64} = (1.257 \cdot 10^9) \text{ mm}^4 \quad L_k := 4 \text{ m}$$

$$\text{Knekklast: } P_{\text{knekking}} := \frac{\pi \cdot E \cdot I}{L_k^2} = (8.389 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad P_{\text{knekking}} \geq N_{Ed} = 1 \quad \text{OK}$$

Med enkel utrekning finn vi at det er nødvendig med betongsøyler som er 400mm.

Sjekker så tilfellet med strekkstag i stål:

$$\text{Eigenvekt: } \gamma_s := 78.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{etter NS-EN 1991-1-1 Tabell A.4}$$

$$\text{Eigenlast: } A_s := \pi \cdot 50^2 \text{ mm}^2 = 0.008 \text{ m}^2 \quad p_{ss} := 4 \text{ m} \cdot A_s \cdot \gamma_s = 2.466 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} := Q_4 + 1.2 \cdot 4 \cdot p_{ss} = (2.246 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Dimensjonering etter NS-EN 1993-1-1:

$$6.2.3: \quad N_{pl.Rd} := A_s \cdot \frac{355 \text{ MPa}}{1.05} = (2.655 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad N_{Ed2} \leq N_{pl.Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

Vi klarer oss dermed med strekkstag på 100 mm.

Ein reduksjon i forhold til betongsøyle på 300 mm.

4 - Bjelkespenn for tre

Samanlikning av bjelkespenn for bjelke

$$l := 1 \text{ m} \quad a := 4 \text{ m} \quad q := 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad Q := q \cdot a = 12 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \gamma_M := 1.15$$

Prøver med dimensjonar på limtrebjelke lik: $h := 2 \cdot 45 \text{ mm} = 90 \text{ mm}$ $b := 215 \text{ mm}$

$$I := \frac{b \cdot h^3}{12} = (1.306 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

Snittkrefter basert på T3.5 i Stålkonstruksjoner - Profiler og formler, for trefeltsbjelke:

$$\text{Bøyning: } M_{Ed} := 0.1 \cdot Q \cdot l^2 = 1.2 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Skjær: } V_{Ed} := 1.1 \cdot Q \cdot l = 13.2 \text{ kN}$$

Utrekning basert på NS-EN 1995-1-1 Prosjektering av trekonstruksjonar

Ute: Klimaklasse 1 ihht pkt 2.3.1.3

Tabell 3.1 for limtre under langtidslast gir: $k_{mod} := 0.7$ Tabell 3.2 gir: $k_{def} := 0.6$

I følgje pkt 3.3 (3) kan bøyestivheita gongast med den minste av faktorane k_h viss høgde og breidde av bjelken er mindre enn 600mm:

$$k_{h1} := \left(\frac{600}{\frac{h}{\text{mm}}} \right)^{0.1} = 1.209 \quad k_{h2} := 1.1 \quad k_h := k_{h2}$$

Materialstyrke limtre GL32h ihht EN 14080 Tabell 5:

$$f_{m,k} := k_h \cdot 32 \text{ MPa} = 35.2 \text{ MPa} \quad f_{v,k} := 3.5 \text{ MPa}$$

$$E := 14200 \text{ MPa} \quad E_{0.05} := 11800 \text{ MPa}$$

$$\text{Dimensjonerande bæreevne ihht pkt 2.4.3: } M_{Rd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 21.426 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.13 \text{ MPa}$$

$$\text{Bøyning ihht pkt 6.1.6: } \sigma_{m,d} := \frac{M_{Ed}}{\frac{b \cdot h^3}{12}} \cdot \frac{h}{2} = 4.134 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,d} \leq M_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Skjær ihht pkt 6.1.7: } \tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{0.67 \cdot b \cdot h} = 1.527 \text{ MPa} \quad \tau_d \leq V_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Nedbøyning ihht pkt 2.2.3 : } u_{fin} := \left(\frac{5}{384} \cdot \frac{\frac{Q}{1.2} \cdot l^4}{E \cdot I} \right) \cdot (1 + k_{def}) = 1.123 \text{ mm}$$

Har delt Q på 1.2 fordi lasta inkluderer lastfaktor og det skal den ikke i bruksgrense.

$$\text{Nedbøyingskrav ihht Tabell NA.7.2: } u_{max} := \frac{l}{300} = 3.333 \text{ mm} \quad u_{fin} \leq u_{max} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Vipping ihht pkt 6.3.3: } l_{ef} := 0.9 \cdot l = 0.9 \text{ m}$$

$$\sigma_{m.crit} := \frac{0.78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = (5.253 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel.m} < 0,75: \quad k_{crit1} := 1$$

$$\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.082 \quad 0,75 < \lambda_{rel.m} < 1,4: \quad k_{crit2} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel.m} = 1.499$$

$$1,4 < \lambda_{rel.m}: \quad k_{crit3} := \frac{1}{\lambda_{rel.m}^2} = 149.22$$

$$k_{crit} := k_{crit1} = 1 \quad k_{crit} \cdot M_{Rd} = 21.426 \text{ MPa} \quad \sigma_{m.d} \leq k_{crit} \cdot M_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

Utrekningane blir gjort ved å endre I og sjå kva resultatet blir. Etterkvart som det blir nødvendig blir bjelkedimensjonen endra. Dette blir så plotta i ein graf for å sjå forskjell på bjelkehøgd opp mot spenn. For dei første dimensjonane blir forholdet litt rart då breidda er satt til 215mm uansett for å berre samanlikne endring i høgde.

5 - Lastareal for tre

Samanlikning av lastareal for bjelke

$$l := 1 \text{ m} \quad a := 1 \text{ m} \quad q := 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad Q := q \cdot a = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \gamma_M := 1.15$$

Prøver med dimensjonar på limtrebjelke lik: $h := 2 \cdot 45 \text{ mm} = 90 \text{ mm}$

$$b := 215 \text{ mm} \quad I := \frac{b \cdot h^3}{12} = (1.306 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

Snittkrefter basert på T3.5 i Stålkonstruksjoner - Profiler og formler, for trefeltsbjelke:

$$\text{Bøyng: } M_{Ed} := 0.1 \cdot Q \cdot l^2 = 0.3 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Skjær: } V_{Ed} := 1.1 \cdot Q \cdot l = 3.3 \text{ kN}$$

Utrekning basert på NS-EN 1995-1-1 Prosjektering av trekonstruksjonar

Ute: Klimaklasse 1 ihht pkt 2.3.1.3

Tabell 3.1 for limtre under langtidslast gir: $k_{mod} := 0.7$ Tabell 3.2 gir: $k_{def} := 0.6$

I følgje pkt 3.3 (3) kan bøyestivheita gongast med den minste av faktorane k_h viss høgde og breidde av bjelken er mindre enn 600mm:

$$k_{h1} := \left(\frac{600}{\frac{h}{\text{mm}}} \right)^{0.1} = 1.209 \quad k_{h2} := 1.1 \quad k_h := k_{h2}$$

Materialstyrke limtre GL32h ihht EN 14080 Tabell 5:

$$f_{m,k} := k_h \cdot 32 \text{ MPa} = 35.2 \text{ MPa} \quad f_{v,k} := 3.5 \text{ MPa}$$

$$E := 14200 \text{ MPa} \quad E_{0.05} := 11800 \text{ MPa}$$

$$\text{Dimensjonerande bæreevne ihht pkt 2.4.3: } M_{Rd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 21.426 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.13 \text{ MPa}$$

$$\text{Bøyng ihht pkt 6.1.6: } \sigma_{m,d} := \frac{M_{Ed}}{\frac{b \cdot h^3}{12}} \cdot \frac{h}{2} = 1.034 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,d} \leq M_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Skjær ihht pkt 6.1.7: } \tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{0.67 \cdot b \cdot h} = 0.382 \text{ MPa} \quad \tau_d \leq V_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Nedbøyning ihht pkt 2.2.3 : } u_{fin} := 2 \cdot \left(\frac{5}{384} \cdot \frac{\frac{Q}{1.2} \cdot l^4}{E \cdot I} \right) \cdot (1 + k_{def}) = 0.562 \text{ mm}$$

Har delt Q på 1.2 fordi lasta inkluderer lastfaktor og det skal den ikkje i bruksgrense.
Har så gonga med 2 for å tilnærme svaret ei tofelts nedbøyning.

$$\text{Nedbøyingskrav ihht Tabell NA.7.2: } u_{max} := \frac{l}{300} = 3.333 \text{ mm} \quad u_{fin} \leq u_{max} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Vipping ihht pkt 6.3.3: } l_{ef} := 0.9 \cdot l = 0.9 \text{ m}$$

$$\sigma_{m.crit} := \frac{0.78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = (5.253 \cdot 10^3) \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel.m} < 0,75: \quad k_{crit1} := 1$$

$$\lambda_{rel.m} := \sqrt{\frac{f_{m.k}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.082 \quad 0,75 < \lambda_{rel.m} < 1,4: \quad k_{crit2} := 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel.m} = 1.499$$

$$1,4 < \lambda_{rel.m}: \quad k_{crit3} := \frac{1}{\lambda_{rel.m}^2} = 149.22$$

$$k_{crit} := k_{crit1} = 1 \quad k_{crit} \cdot M_{Rd} = 21.426 \text{ MPa} \quad \sigma_{m.d} \leq k_{crit} \cdot M_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

Utrekningane blir gjort ved å endre l og a for å sjå kva resultatet blir. Etterkvart som det blir nødvendig blir bjelkedimensjonen endra. Dette blir så plotta i ein graf for å sjå forskjell på bjelkehøgd opp mot spenn. For dei første dimensjonane blir forholdet litt rart då breidda er satt til 215mm uansett for å berre samanlikne endring i høgde.

6 - Bjelkespenn for stål

Samanlikning av bjelkespenn for bjelke i stål

$$l := 1 \text{ m} \quad a := 4 \text{ m} \quad q := 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad Q := q \cdot a = 12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Snittkretter basert på T3.5 i Stålkonstruksjoner - Profiler og formler, for trefeltsbjelke:

$$\text{Bøyning: } M_{Ed} := 0.1 \cdot Q \cdot l^2 = 1.2 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Skjær: } V_{Ed} := 1.1 \cdot Q \cdot l = 13.2 \text{ kN}$$

Utrekning basert på NS-EN 1993-1-1 Prosjektering av stålkonstruksjoner:

$$\text{Partialfaktorar ihht pkt NA.6.1: } \gamma_{M0} := 1.05 \quad \gamma_{M1} := 1.05 \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$\text{Flytespenning etter Tabell 3.1: } f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$\text{Elastisitetsmodul ihht pkt 3.2.6: } E := 210000 \text{ MPa}$$

Prøver med H-profil med data henta fra Stålkonstruksjoner - Profiler og formler:

$$\begin{aligned} \text{HE100B: } h &:= 100 \text{ mm} & b &:= 100 \text{ mm} & t_f &:= 10 \text{ mm} & s_w &:= 6 \text{ mm} \\ r &:= 12 \text{ mm} & A &:= 2600 \text{ mm}^2 & h_w &:= h - 2 \cdot t_f = 80 \text{ mm} \\ I &:= 4.5 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 & W_{pl} &:= 2 \cdot 52.1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\ A_v &:= A - 2 \cdot b \cdot t_f + (s_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 900 \text{ mm}^2 \\ A_{v,min} &:= 1.2 \cdot h_w \cdot s_w = 576 \text{ mm}^2 & A_v &\geq A_{v,min} = 1 \end{aligned}$$

$$\text{Bøyingsmoment ihht pkt 6.2.5: } M_{Rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 35.23 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{Rd} \geq M_{Ed} = 1$$

Antar med dette at vi har tverrsnittsklasse 1 eller 2 på samtlige profil.

$$\text{Skjær ihht pkt 6.2.6: } V_{Rd} := \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = 175.679 \text{ kN} \quad V_{Rd} \geq V_{Ed} = 1$$

$$\text{Nedbøyning: } w_b := \frac{5}{384} \cdot \frac{\frac{Q}{l} \cdot l^4}{E \cdot I} = 0.138 \text{ mm}$$

Då det i følge stålstandarden ikke er gitt noko anna krav til nedbøyning enn "avtale mellom partane" blir det brukt krav frå betongstandarden NS-EN 1992-1-1 ihht pkt 7.4.1 (4):

$$w_{max} := \frac{l}{250} = 4 \text{ mm} \quad w_b \leq w_{max} = 1$$

7 - Lastareal for stål

Samanlikning av lastareal for bjelke i stål

$$l := 11 \text{ m} \quad a := 11 \text{ m} \quad q := 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad Q := q \cdot a = 33 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Snittkretter basert på T3.5 i Stålkonstruksjoner - Profiler og formler, for trefeltsbjelke:

$$\text{Bøyning: } M_{Ed} := 0.1 \cdot Q \cdot l^2 = 399.3 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Skjær: } V_{Ed} := 1.1 \cdot Q \cdot l = 399.3 \text{ kN}$$

Utrekning basert på NS-EN 1993-1-1 Prosjektering av stålkonstruksjoner:

$$\text{Partialfaktorar ihht pkt NA.6.1: } \gamma_{M0} := 1.05 \quad \gamma_{M1} := 1.05 \quad \gamma_{M2} := 1.25$$

$$\text{Flytespenning etter Tabell 3.1: } f_y := 355 \text{ MPa}$$

$$\text{Elastisitetsmodul ihht pkt 3.2.6: } E := 210000 \text{ MPa}$$

Prøver med H-profil med data henta fra Stålkonstruksjoner - Profiler og formler:

$$\text{HE550B: } h := 550 \text{ mm} \quad b := 300 \text{ mm} \quad s_w := 15 \text{ mm} \quad t_f := 29 \text{ mm}$$

$$r := 27 \text{ mm} \quad A := 25400 \text{ mm}^2 \quad h_w := h - 2 \cdot t_f = 492 \text{ mm}$$

$$I := 1367 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad W_{pl} := 2 \cdot 2800 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A_v := A - 2 \cdot b \cdot t_f + (s_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = (1 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$A_{v,min} := 1.2 \cdot h_w \cdot s_w = (8.856 \cdot 10^3) \text{ mm}^2 \quad A_v \geq A_{v,min} = 1$$

$$\text{Bøyingsmoment ihht pkt 6.2.5: } M_{Rd} := \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = (1.893 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{Rd} \geq M_{Ed} = 1$$

Antar med dette at vi har tverrsnittsklasse 1 eller 2 på samtlige profil.

$$\text{Skjær ihht pkt 6.2.6: } V_{Rd} := \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = (1.952 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad V_{Rd} \geq V_{Ed} = 1$$

$$\text{Nedbøyning: } w_b := 2 \cdot \left(\frac{5}{384} \cdot \frac{1.2}{E \cdot I} \cdot l^4 \right) = 36.525 \text{ mm}$$

Då det i følge stålstandarden ikkje er gitt noko anna krav til nedbøyning enn "avtale mellom partane" blir det brukt krav frå betongstandarden NS-EN 1992-1-1 ihht pkt 7.4.1 (4):

$$w_{max} := \frac{l}{250} = 44 \text{ mm} \quad w_b \leq w_{max} = 1$$

8 - Betongsøyler i Sendai Mediatheque

Lastrekning av søylene i Sendai Mediatheque

Nyttelast på gulv etter NS-EN 1991-1-1 Tabell 6.1 og 6.2: Kategori C3

$$\text{Offentlege rom: } q_k := 5 \frac{kN}{m^2}$$

Eigenlast betongdekke etter Betongelementboken 2010 bind A etter figur A 4.2:
Antar maksimalt spenn på under 9 meter som gir hulldekker med høgde 200mm.

$$p_{kd} := 2.6 \frac{kN}{m^2}$$

Eigenvekt av betongsøyla:

$$\text{Antar etasjehøgde: } h := 4 \text{ m} \quad \gamma_C := 25 \frac{kN}{m^3} \quad \text{etter NS-EN 1991-1-1 Tabell A.1}$$

$$\text{Tversnittsareal på søyla: } A_C := \pi \cdot 330^2 \text{ mm}^2 = 0.342 \text{ m}^2$$

$$\text{Eigenvekt betongsøyle: } p_{ks} := h \cdot A_C \cdot \gamma_C = 34.212 \text{ kN}$$

I tillegg kjem vekt frå fasada inn på kvar etasje. Antar denne til å vere lik:

$$p_f := 7000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot \frac{1}{100 \text{ m}^2} = 0.687 \frac{kN}{m^2}$$

7000kg antatt ut i
frå at glaset i seg
sjølv vil vege 5 tonn
og festesystem 2
tonn per øyle. Vekt
av glas basert på
kalkulator på
www.permordt.no

Snølast etter NS-EN 1991-1-3:

$$\text{Tabell NA.4.1(901) for Trondheim: } s_k := 3.5 \frac{kN}{m^2}$$

Har ikkje snølast-
data frå Sendai, så
brukar Trondheim
sjølv om det er
veldig konservativt.

$$\text{Tabell 5.2: } \mu_i := 0.8$$

$$\text{Tabell 5.1: } C_e := 1.0 \quad \text{for normal topografi}$$

$$5.2 (8): \quad C_t := 1.0$$

$$5.2 (3) a): \quad s := \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 2.8 \frac{kN}{m^2}$$

Bestemmelse av N i nederste søyle med antatt lastareal på: $A := 100 \text{ m}^2$ Har 6 etasjer

NS-EN 1990 Tabell NA.A1.2(B):

Tabell NA.A1.2(B) – Dimensjonerende verdier for laster (STR/GEO) (sett B)

Vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner	Permanente laster		Dominerende variabel last (*)	Øvrige variable laster (*)
	Ugunstig	Gunstig		
(Ligning 6.10a)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Ligning 6.10b)	$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

(*) Variable laster er de som er oppført i tabell NA.A1.1

MERKNAD 1 Det brukes følgende sett med γ - og ξ -verdier ved bruk av uttrykk 6.10a og 6.10b:

$\gamma_{G,j,sup} = 1,35$;

$\gamma_{G,j,inf} = 1,00$;

$\gamma_{Q,1} = 1,50$ hvis ugunstig (0 hvis gunstig);

$\gamma_{Q,i} = 1,50$ hvis ugunstig (0 hvis gunstig);

$\xi = 0,89$,

(I Norge brukes 6.10a og 6.10b, slik at $\xi \gamma_G = 0,89 \times 1,35 = 1,20$).

$$N_1 := (1.35 \cdot 6 \cdot p_k + 1.5 \cdot 0.7 \cdot 5 \cdot q_k + 1.5 \cdot 0.7 \cdot s) \cdot A = (5.858 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$N_2 := (1.2 \cdot 6 \cdot p_k + 1.5 \cdot 5 \cdot q_k + 1.5 \cdot 0.7 \cdot s) \cdot A = (6.657 \cdot 10^3) \text{ kN} \quad N_{Ed} := N_2$$

Dimensjonering av søyla etter NS-EN 1992-1-1:

$$3.1.6 (1): \text{Velger B35} \quad f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{35 \text{ MPa}}{1.5} = 19.833 \text{ MPa}$$

$$\text{Trykkspenning: } \sigma_c := \frac{N_{Ed}}{A_C} = 19.457 \text{ MPa} \quad f_{cd} \geq \sigma_c = 1 \quad \text{OK for trykk}$$

Sjekker så med kombinert moment og normalkraft basert på minste eksentrisitet:

$$6.1 (4): \quad h_c := 660 \text{ mm} \quad e_0 := \frac{h_c}{30} = 22 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} := N_{Ed} \cdot e_0 = 146.448 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Bruker m-n-diagram fra "Betongkonstruksjoner" av Sørensen og finn:

$$n := \frac{N_{Ed}}{A_C \cdot 35 \text{ MPa}} = 0.556 \quad m := \frac{M_{Ed}}{A_C \cdot 660 \text{ mm} \cdot 35 \text{ MPa}} = 0.019$$

Dette gir $w=0$ og ikkje behov for armering. Kan derfor redusere søyleverrsnittet, men vil då måtte trykkarmere. Beheld derfor denne løysinga. No har det kun blitt tatt hensyn til moment frå minsteeksentriskitet. Får dermed ei rund søyle med diameter i nederste etasje lik 660mm.

Sjekker om dette held når ein tar omsyn til knekking. Knekklengda vil ligge ein plass mellom $0,5L$ og L i følge Figur 5.7 i NS-EN 1992-1-1. Velger mest konservative løysing med knekklengde lik L .

$$E := 34 \text{ GPa} \quad \text{etter Tabell 3.1} \quad I := \frac{\pi \cdot h_c^4}{64} = (9.314 \cdot 10^9) \text{ mm}^4 \quad L_k := h$$

Knekklast: $P_{knekkning} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_k^2} = (1.953 \cdot 10^5) \text{ kN}$ $P_{knekkning} \geq N_{Ed} = 1 \quad \text{OK}$

Standarden gir krav til minste vertikalarmering i følge NA.9.6.2:

$$A_{s,vmin} := 0.002 \cdot A_C = 684.239 \text{ mm}^2 \quad \text{Kan f.eks. vere } 4\phi 16 \text{ som gir } As=804 \text{ mm}^2$$

Denne dimensjoneringa er kun rettleiande og kan potensielt vere veldig feil.
Største usikkerheitsmomentet er mengda armering som er nødvendig.

Utrekninga er basert på den som blei gjort i prosjektoppgåva for Anders sitt bygg

9 – Fagverk-dimensjon

Fagverk-eksempel

Antar 2,5 meter høgde er tilstrekkelig og finn dimensjon på gurtane i fagverket.

$$l := 30 \text{ m} \quad a := 10 \text{ m} \quad q_k := 4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad p_k := 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

NS-EN 1990 Tabell NA.A1.2(B):

Tabell NA.A1.2(B) – Dimensjonerende verdier for laster (STR/GEO) (sett B)

Vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner	Permanente laster		Dominerende variabel last (*)	Øvrige variable laster (*)
	Ugunstig	Gunstig		
(Ligning 6.10a)	$\gamma_{G,j,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,i}$
(Ligning 6.10b)	$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,i}$

(*) Variable laster er de som er oppført i tabell NA.A1.1

MERKNAD 1 Det brukes følgende sett med γ - og ξ -verdier ved bruk av uttrykk 6.10a og 6.10b:

$$\gamma_{G,j,sup} = 1,35;$$

$$\gamma_{G,j,inf} = 1,00;$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ hvis ugunstig (0 hvis gunstig);}$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ hvis ugunstig (0 hvis gunstig);}$$

$$\xi = 0,89,$$

(I Norge brukes 6.10a og 6.10b, slik at $\xi \gamma_G = 0,89 \times 1,35 = 1,20$).

$$Q_1 := (1.35 \cdot 6 \cdot p_k + 1.5 \cdot 0.7 \cdot 6 \cdot q_k) \cdot a = 495 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Q_2 := (1.2 \cdot 6 \cdot p_k + 1.5 \cdot 6 \cdot q_k) \cdot a = 576 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$Q_{Ed} := Q_2$$

$$M_{Ed} := \frac{Q_{Ed} \cdot l^2}{8} = (6.48 \cdot 10^4) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$f_{yk} := 355 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M := 1.05$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = 338.095 \text{ MPa}$$

Prøver med dimensjon på gurtane lik: $b := 320 \text{ mm}$ $h := 320 \text{ mm}$

$$A := b \cdot h = (1.024 \cdot 10^5) \text{ mm}^2$$

Momentarm for fagverket blir: $z := 2.5 \text{ m} - h = 2.18 \text{ m}$

$$M_{Rd} := f_{yd} \cdot A \cdot z = (7.547 \cdot 10^4) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Nedbøyning: } Q := 6 \cdot (p_k + q_k) \cdot a = 420 \frac{kN}{m} \quad E_s := 210000 \text{ MPa}$$

$$\text{Forenkla 2.gradsmoment: } I := 2 \cdot b \cdot h \cdot \left(\frac{z}{2}\right)^2 = (2.433 \cdot 10^{11}) \text{ mm}^4$$

$$w := \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{Ed} \cdot l^4}{E_s \cdot I} = 118.89 \text{ mm}$$

$$\text{Krav etter NS-EN 1992-1-1 7.4.1 (4): } w_{krav} := \frac{l}{250} = 120 \text{ mm} \quad w \leq w_{krav} = 1 \text{ OK}$$

Nedbøyingskravet gjor at gurtdimensjonane måtte justerast opp med 20mm i kvar retning. Om ein hadde fått lagt til bidraget frå skråstaga kan det godt hende kravet hadde vore tilfredsstilt. Utrekningane er uansett veldig forenkla og gir berre ein peikepinn på kor stor dimensjon ein treng. Den største forenklinga er at fagverket er i massivstål. Det er ofte ikkje tilfelle. Ein brukar gjerne hullprofil.

10 – Knekking av søyler på Nye Istanbul Flyplass

Søylene på Nye Istanbul Flyplass

$$\text{Søylelengde: } h := 13 \text{ m} \quad \gamma_C := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \text{etter NS-EN 1991-1-1 Tabell A.1}$$

$$\text{Tversnittsareal på søyla: } A_C := \pi \cdot 1000^2 \text{ mm}^2 = 3.142 \text{ m}^2$$

$$\text{Eigenvekt betongsøyle: } p_{ks} := h \cdot A_C \cdot \gamma_C = (1.021 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$\text{Antar eigenvekt av takkonstruksjon på: } p_{kt} := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Bestemmelse av N i søyle med lastareal på: } A := 34 \text{ m} \cdot 34 \text{ m} = (1.156 \cdot 10^3) \text{ m}^2$$

$$N_{Ed} := 1.2 \cdot (p_{ks} + (p_{kt} \cdot A)) = (1.51 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

Dimensjonering av søyla etter NS-EN 1992-1-1:

$$3.1.6 (1): \text{Velger B35} \quad f_{cd} := 0.85 \cdot \frac{35 \text{ MPa}}{1.5} = 19.833 \text{ MPa}$$

$$\text{Trykkspenning: } \sigma_c := \frac{N_{Ed}}{A_C} = 4.806 \text{ MPa} \quad f_{cd} \geq \sigma_c = 1 \quad \text{OK for trykk}$$

Sjekker så med kombinert moment og normalkraft basert på minste eksentrisitet:

$$6.1 (4): \quad h_c := 2000 \text{ mm} \quad e_0 := \frac{h_c}{30} = 66.667 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} := N_{Ed} \cdot e_0 = (1.006 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Bruker m-n-diagram fra "Betongkonstruksjoner" av Sørensen og finn:

$$n := \frac{N_{Ed}}{A_C \cdot 35 \text{ MPa}} = 0.137 \quad m := \frac{M_{Ed}}{A_C \cdot 2000 \text{ mm} \cdot 35 \text{ MPa}} = 0.005$$

Dette gir $w=0$ og ikke behov for armering. Kan derfor redusere søyleverrsnittet, men her er dimensjonen allereie satt.

Sjekker opp mot knekking. Setter knekk lengde lik L. $L_k := h = 13 \text{ m}$

$$E := 34 \text{ GPa} \quad \text{etter Tabell 3.1} \quad I := \frac{\pi \cdot h_c^4}{64} = (7.854 \cdot 10^{11}) \text{ mm}^4$$

$$\text{Knekklast: } P_{\text{knekking}} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_k^2} = (1.559 \cdot 10^6) \text{ kN} \quad P_{\text{knekking}} \geq N_{Ed} = 1 \quad \text{OK}$$

Har veldig god kapasitet. Søyleverrsnittet verkar å vere dimensjonert for mykje større last som kjem frå dei interne etasjane. Sjekkar med auka knekk lengde:

Søylelengde: $h := 32 \text{ m}$

Ny eigenvekt betongsøyle: $p_{ks} := h \cdot A_C \cdot \gamma_C = (2.513 \cdot 10^3) \text{ kN}$

Ny last på søyle:

$$N_{Ed} := 1.2 \cdot (p_{ks} + (p_{kt} \cdot A)) = (1.689 \cdot 10^4) \text{ kN}$$

Dimensjonering av søyla etter NS-EN 1992-1-1:

Trykkspenning: $\sigma_c := \frac{N_{Ed}}{A_C} = 5.376 \text{ MPa}$ $f_{cd} \geq \sigma_c = 1$ OK for trykk

Sjekker så med kombinert moment og normalkraft basert på minste eksentrisitet:

6.1 (4): $h_c := 2000 \text{ mm}$ $e_0 := \frac{h_c}{30} = 66.667 \text{ mm}$

$$M_{Ed} := N_{Ed} \cdot e_0 = (1.126 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Bruker m-n-diagram fra "Betongkonstruksjoner" av Sørensen og finn:

$$n := \frac{N_{Ed}}{A_C \cdot 35 \text{ MPa}} = 0.154 \quad m := \frac{M_{Ed}}{A_C \cdot 2000 \text{ mm} \cdot 35 \text{ MPa}} = 0.005$$

Dette gir $w=0$ og ikkje behov for armering. Kan derfor redusere søyleverrsnittet, men her er dimensjonen allereie satt.

Sjekker opp mot knekking. Setter knekk lengde lik L . $L_k := h = 32 \text{ m}$

Knekklast: $P_{knekking} := \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_k^2} = (2.574 \cdot 10^5) \text{ kN}$ $P_{knekking} \geq N_{Ed} = 1$ OK

Har også her veldig god kapasitet. Dette er så klart ei veldig enkel utrekning og ikkje så kompleks som den som trengs for fullstendig analyse av søylene. Om ein godtar dei forutsetninga som er gjort vil ein likevel kunne trekke konklusjonen at søylene har god nok kapasitet mot knekking sjølv med lengst knekk lengde.

11 – Bilde av Google sitt nye hovedkvarter



Figur V1: Skjermklipp fra Google sin Youtube-video [3.07 min] (Google, 2015a)



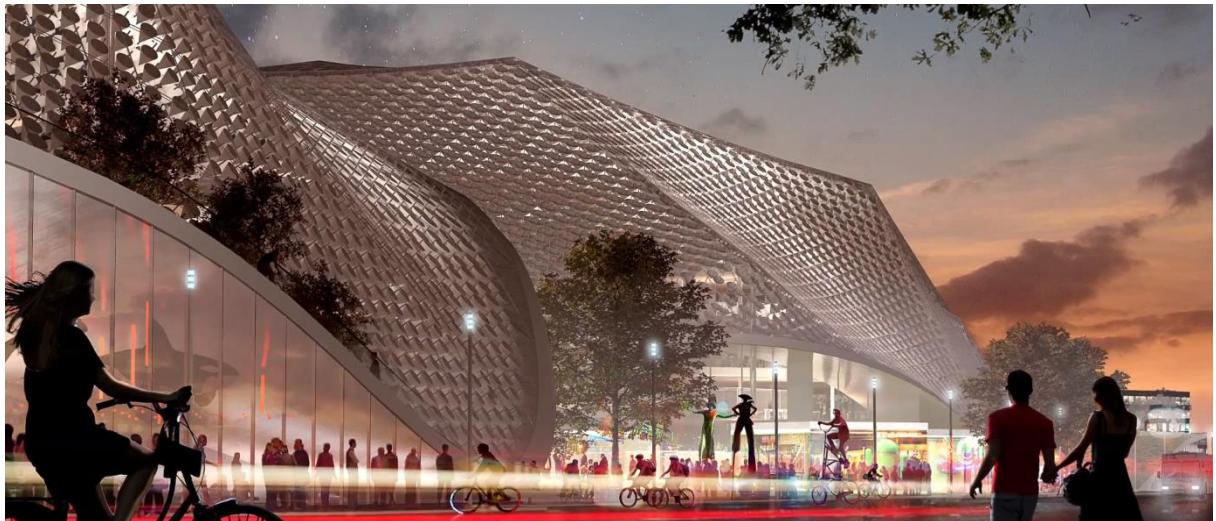
Figur V2: Skjermklipp fra Google sin Youtube-video [4.19 min] (Google, 2015a)



Figur V3: Skjermklipp fra Google sin Youtube-video [4.22 min] (Google, 2015a)



Figur V4: Skjermklipp fra Google sin Youtube-video [5.41 min] (Google, 2015a)



Figur V5: Skjermklipp fra Google sin Youtube-video [6.06 min] (Google, 2015a)

12 – Samanlikning klimaklasse

Samanlikning av klimaklasse for bjelke og søyle

$$l := 5 \text{ m} \quad q := 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad H := 3 \text{ m} \quad p := 40 \text{ kN} \quad \gamma_M := 1.3$$

Utrekning basert på NS-EN 1995-1-1 Prosjektering av trekonstruksjonar

$$\text{Bøyning: } M_{Ed} := q \cdot \frac{l^2}{8} = 31.25 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{Skjær: } V_{Ed} := q \cdot \frac{l}{2} = 25 \text{ kN}$$

$$\text{Trykk: } N_{Ed} := p = 40 \text{ kN}$$

Ute: Klimaklasse 3 ihht pkt 2.3.1.3

Tabell 3.1 for konstruksjonstre under langtidslast gir: $k_{mod3} := 0.55$

Inne: Klimaklasse 1 som gir: $k_{mod1} := 0.7$

Materialstyrke C30 ihht NS-EN 338 Tabell 1: $f_{m,k} := 30 \text{ MPa}$ $f_{v,k} := 4.0 \text{ MPa}$

$$f_{c,0,k} := 23 \text{ MPa} \quad E_{0,05} := 12 \text{ GPa}$$

Finn dimensjon ute:

$$\text{Dimensjonerende bæreevne ihht pkt 2.4.3: } M_{Rd} := k_{mod3} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 12.692 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd} := k_{mod3} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 1.692 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd} := k_{mod3} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 9.731 \text{ MPa}$$

Prøver med dimensjonar på bjelke lik: $h := 2 \cdot 198 \text{ mm}$ $b := 98 \text{ mm}$

$$\text{Skjær ihht pkt 6.1.7: } \tau_d := \frac{3}{2} \cdot V_{Ed} \cdot \frac{1}{0.67 \cdot b \cdot h} = 1.442 \text{ MPa} \quad \tau_d \leq V_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Bøyning ihht pkt 6.1.6: } \sigma_{m,d} := \frac{M_{Ed}}{\frac{b \cdot h^3}{12}} \cdot \frac{h}{2} = 12.201 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,d} \leq M_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

Prøver med kvadratisk dimensjon på søyle lik: $t := 123 \text{ mm}$

$$\text{Trykk ihht pkt 6.1.4: } \sigma_{c,d} := \frac{N_{Ed}}{t \cdot t} = 2.644 \text{ MPa} \quad \sigma_{c,d} \leq N_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Knekking ihht pkt 6.3.2: } \lambda_{rel} := \frac{\sqrt{12 \cdot H}}{\pi \cdot t} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = 1.177 \quad \beta_c := 0.2$$

$$k := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2) = 1.281 \quad k_c := \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = 0.56$$

$$\frac{\sigma_{c,d}}{k_c \cdot N_{Rd}} = 0.485 < 1 \quad \text{OK med god margin, men } 98 \times 98 \text{ vil ikkje gi god nok kapasitet}$$

Finn dimensjon inne:

$$\text{Dimensjonerande bæreevne ihht pkt 2.4.3: } M_{Rd} := k_{mod1} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 16.154 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd} := k_{mod1} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 2.154 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd} := k_{mod1} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 12.385 \text{ MPa}$$

Prøver med dimensjonar på bjelke lik: $h := 2 \cdot 173 \text{ mm}$ $b := 98 \text{ mm}$

$$\text{Skjær ihht pkt 6.1.7: } \tau_d := \frac{3}{2} \cdot V_{Ed} \cdot \frac{1}{0.67 \cdot b \cdot h} = 1.651 \text{ MPa} \quad \tau_d \leq V_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Bøyning ihht pkt 6.1.6: } \sigma_{m,d} := \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^3} \cdot \frac{h}{2} = 15.982 \text{ MPa} \quad \sigma_{m,d} \leq M_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

Prøver med kvadratisk dimensjon på søyle lik: $t := 98 \text{ mm}$

$$\text{Trykk ihht pkt 6.1.4: } \sigma_{c,d} := \frac{N_{Ed}}{t \cdot t} = 4.165 \text{ MPa} \quad \sigma_{c,d} \leq N_{Rd} = 1 \quad \text{OK}$$

$$\text{Knekking ihht pkt 6.3.2: } \lambda_{rel} := \frac{\sqrt{12} \cdot H}{\pi \cdot t} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} = 1.478 \quad \beta_c := 0.2$$

$$k := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0.3) + \lambda_{rel}^2) = 1.71 \quad k_c := \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = 0.389$$

$$\frac{\sigma_{c,d}}{k_c \cdot N_{Rd}} = 0.864 < 1 \quad \text{OK}$$

Ved å endre klimaklasse frå 3 til 1 sparar ein éin dimensjon i høgda. Ein kan på bjelken gå frå $2 \times 198 \text{ mm}$ til $2 \times 173 \text{ mm}$ med samme breidde på 98 mm . For søyla kan ein redusere det kvadratiske tverrsnittet frå $123 \times 123 \text{ mm}$ til $98 \times 98 \text{ mm}$.

13 – Korrespondanselogg

Dato	Metode	Inn/ut	Kontaktperson	Grunn
16.feb	Epost	Ut	oyvin.grongstad@finnmarkssykehuset.no	Spm om kvifor dei (evnt.) ikkje brukar teknisk mellometasje på nye Kirkenes sjukehus
17.feb	Epost	Inn	oyvin.grongstad@finnmarkssykehuset.no	Svar på spørsmål med grunngjeving i kostnad
10.mar	Epost	Ut	age.lien@stolav.no	Spm om kvifor/kvifor ikkje TME på St.Olav
10.mar	Epost	Ut	sl@linkarkitektur.no	Spm om kvifor/kvifor ikkje TME på Karolinska sjukehus i Sverige
10.mar	Epost	Inn	age.lien@stolav.no	Respons på epost og henvising til Audun Askimdal
10.mar	Epost	Ut	Audun.Magne.Askimdal@stolav.no	Spm om kvifor/kvifor ikkje TME på St.Olav
11.mar	Epost	Inn	sl@linkarkitektur.no	Svar om at Link arkitektur ikkje har teikna Karolinska
11.mar	Epost	Ut	oystein.meland@uia.no	Spm om TME-erfaring
11.mar	Epost	Inn	Audun.Magne.Askimdal@stolav.no	Svar frå Audun med vedlegg om forprosjekt på St.Olav
12.mar	Epost	Inn	oystein.meland@uia.no	Svar frå Øystein med vidare referanse til Per W Torgersen
12.mar	Epost	Ut	oystein.meland@uia.no	Spm om dr. ing. oppgåve og epost til Per
12.mar	Epost	Ut	Morten.Lokken.Bendiksen@ahus.no	Spm om erfaring med TME og TT
12.mar	Epost	Inn	oystein.meland@uia.no	Svar om oppgåve og epost til Per, men utan resultat
12.mar	Epost	Ut	per.torgersen@sshf.no	Spm til Per Torgersen om TME
12.mar	Epost	Inn	oystein.meland@uia.no	Svar frå Øystein om funn av ph.d.oppgåve om TME
12.mar	Epost	Inn	per.torgersen@sshf.no	Svar frå Per om TME
16.mar	Epost	Inn	Morten.Lokken.Bendiksen@ahus.no	Svar frå Morten med vidaresending til Alf Christian Jørgensen
18.mar	Epost	Ut	per.torgersen@sshf.no	Oppfølgingsspm til Per om berekonstruksjon på TME
18.mar	Epost	Ut	Audun.Magne.Askimdal@stolav.no	Oppfølgingsspm til Audun om berekonstruksjon på TME på St. Olav
18.mar	Epost	Inn	Audun.Magne.Askimdal@stolav.no	Svar frå Audun med vedlegg om TME på St.Olav
23.mar	Epost	Ut	studio@heatherwick.com	Spm om nye Google hovudkvarter
23.mar	Epost	Ut	ryan@big.dk	Spm om nye Google hovudkvarter
23.mar	Epost	Ut	Alf.Christian.Jorgensen@ahus.no	Purring på Alf om svar om TME på Ahus
09.apr	Epost	Ut	ea@nordicarch.com	Spm til Eskild Andersen om nye Istanbul flyplass

09.apr	Epost	Inn	ea@nordicarch.com	Svar frå Eskild med vidaresending til Ingrid Motzfeldt (im@nordicarch.com)
10.apr	Epost	Inn	im@nordicarch.com	Svar frå Ingrid om nye Istanbul flyplass
10.apr	Epost	Ut	im@nordicarch.com	Oppfølging av epost frå Ingrid
13.apr	Epost	Ut	ryan@big.dk	Purring på BIG om Google sitt nye hovudkvarter
13.apr	Epost	Ut	studio@heatherwick.com	Purring på Heatherwick Studio om Google sitt nye hovudkvarter
13.apr	Epost	Inn	ryan@big.dk	Svar frå BIG med link til info om Googleplex
15.apr	Epost	Inn	studio@heatherwick.com	Svar frå Heatherwick Studio om at dei ikkje har kapasitet til å svare på spm om Google
21.apr	Epost	Ut	im@nordicarch.com	Purring på svar frå Ingrid om nye Istanbul flyplass
21.apr	Epost	Inn	im@nordicarch.com	Svar frå Ingrid om nye Istanbul flyplass med vedlegg om konstruksjon av taket
13.mai	Epost	Ut	info@maku.se	Spørsmål om dimensjon på fagverk i TME