

Stomval & Produktionsteknik

- *En studie om höga konstruktioner*



Naib Woldemariam

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet, 2010

Rapport TVBK - 5190

Avdelningen för Konstruktionsteknik
Lunds tekniska Högskola
Box 118
211 00 Lund

Department of Structural Engineering
Lund Institute of Technology
Box 118
211 00 Lund
Sweden

Stomval och produktionsteknik
- En studie om höga konstruktioner

Structural system and production technique
- A study of high-rise structures

Naib Woldemariam, 2010

Abstract

Actors in the Swedish building industry have shown interest to build tall buildings in Sweden. It has historically been very few high rises and skyscrapers built and therefore the experience and traditions of high rise buildings are limited in Sweden.

The aim of this thesis was to collect and present experiences from high-rise buildings, both from national and international high rise projects. The information was mainly collected from interviews with stakeholders in various high rise projects and studies of popular science articles.

The design of a high rise structure is more complex in comparison with a low-rise building. The completed design must meet high standards because of its tall structure and because the buildings are used as offices and residential space.

In regions where high-rise buildings are common, the methods for constructing this type of structure are well established. The structural system and production method are chosen specifically for each project where the most influential factors are the design height, geographical location (city center, climate, etc.) and design loads (wind loads, earthquake, etc.).

Historically, high constructions have been built with a steel frame. The development of concrete's properties and its production management has led to the prevalence of concrete frames for high rises. Concrete has many properties that make the material suitable for high-rise structures. The weight of the concrete gives good resistance to horizontal loads and the material is good from an acoustic point of view. One of the most desirable properties of concrete is the ductility that offers a widespread area of usage.

Never before have so many skyscrapers been completed, despite the international financial crisis. The reason is that the production of this type of construction is complex, time consuming and expensive. Consequently, most building projects of this kind are initiated in a time of good economic health, but completion may take several years and thus projects are finished during the following recession.

According to articles (Ali & Armstrong, 2008), a certain proportion of the population will be concentrated around established cities. This trend is primarily seen in developing countries which can be compared to the development in the U.S in the late 1800s. This fact means that there will be urban city centers with a dense population on a relatively small area. Thus, the need for large living space with a small footprint is created. Skyscrapers are often a good solution to such situations and that's why the market is promising.

Sweden's housing market does not offer sufficient land prices for skyscrapers to be economically feasible (except in central Stockholm). It has been speculated that several high-construction projects all over Sweden and the indication is clear. There will be built high rises but no skyscrapers i.e. house which is 100 meters and less.

The construction industry in Sweden has a great knowledge about concrete and precast concrete, thus it seems natural for the industry to use concrete in apartment housing.

Rapport TVBK-5190
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK-10/5190+58p

Examensarbete
Handledare: Johan Hellqvist
Examinator: Sven Thelandersson
December 2010

Copyright ©
Naib Woldemariam
Avd Konstruktionsteknik LTH

Förord

Jag vill börja med att tacka Karl-Johan Laag från SWECO Structures, för att han föreslog ämnet för mitt examensarbete. Vidare vill jag tacka min handledare från SWECO, Johan Hellqvist, för hans tid och för alla intressanta diskussioner. Jag vill tacka alla medarbetare på SWECO Structures Malmö, som har bistått med hjälp i alla vardagliga situationer.

Jag vill även tacka min examinator Sven Thelandersson och min handledare Fredrik Carlsson från konstruktionsteknik på LTH, för deras tankar och synpunkter på utvecklingen av examensarbetet.

Jag är väldigt tacksam för all stöd jag har fått från min familj och mina vänner, ert stöd har varit väldigt upplyftande och det har gett mig mycket inspiration.

Sist vill jag även visa min tacksamhet för alla personer som har ställt upp på intervjuer eller bistått med hjälp från annat håll, er hjälp har inte varit obemärkt...

N.Woldemariam

Sammanfattning

Aktörer i Sveriges byggbransch har visat intresse för att bygga höga byggnader i Sverige. Det har historiskt sett byggts ett fåtal höga hus och skyskrapor i Sverige, följaktligen är erfarenheterna och traditionerna kring höghusbyggande ringa.

Syftet med arbetet var att samla in och redovisa erfarenheter från höghusbyggnationer både från nationella och internationella byggprojekt. Informationen har i huvudsak samlats in från intervjuer med aktörer i olika höghusprojekt och studie av populärvetenskapliga artiklar.

Vid byggande av höga konstruktioner blir projekteringen mer komplex i jämförelse med ett "låghus" projekt. Den färdigställda konstruktionen måste uppfylla högre ställda krav med hänsyn till konstruktionens höjd och utformning.

I de regioner där höghusbyggande förekommer i stor utsträckning finns väletablerade metoder för hur konstruktioner av denna typ skall utföras. Stomsystem och produktionsval anpassas för det gällande projektets förutsättningar. De mest tongivande faktorerna vid bestämmande av de ovannämnda omständigheterna är konstruktionens höjd, geografiskt område (stadskärna, klimatförhållanden m.m.) och dimensionerande laster (vindlast, jordbävning m.m.).

Historiskt sett har höga konstruktioner uppförts med stålstomme. Utvecklingen av betongens egenskaper och produktionshantering har medfört en utbredning av betong som stommaterial. Betong har flera egenskaper som gör att materialet lämpar sig för höghuskonstruktioner. Betongens tyngd ger god motståndskraft mot horisontella laster och goda akustiska egenskaper. En av de mest eftertraktade egenskaperna är betongens formbarhet som erbjuder anpassning till flera användningsområden.

Aldrig förr har så många skyskrapor färdigställts, trots den internationella finans krisen. Fenomenet beror på att uppförandet av denna konstruktionstyp är komplex, tidskrävande och framförallt kostsam. Följaktligen påbörjas de flesta byggprojekt av detta slag under en högkonjunktur men färdigställandet kan ta flera år och därmed avslutas projekten ofta under följande lågkonjunktur.

Enligt studerade artiklar (Ali & Armstrong, 2008) kommer befolkningens att koncentreras kring befintliga städer. Denna trend ses främst i utvecklingsländer och kan jämföras med utvecklingen USA gick igenom sent 1800-tal. Detta innebär att det kommer att skapas stadscentra där invånarantalet är högt på en förhållandevis liten yta. Således kommer behovet av stor boyta på ett litet "fotavtryck" vara nödvändigt. Skyskrapor är i många fall ett bra alternativ till sådana situationer, följaktligen är marknaden lovande.

Sveriges bostadsmarknad erbjuder inte tillräckliga tomtpriser för att skyskrapor ska vara ekonomiskt försvarbara (förutom i Stockholms innerstad). Det har spekulerats kring flera höga byggnadsprojekt runtom i Sverige och indikationen är tydlig. Det kommer byggas flera höga hus men inga skyskrapor d.v.s. hus som är 100 meter och lägre.

Byggbranschen i Sverige har ett stort kunnande kring betong, således förefaller naturligt för branschen att utnyttja betong vid höghus byggande.

Ordlista

Branschspecifika ord som förekommer i rapporten presenteras och förklaras här för att underlätta för läsaren

A

Axiell riktning – detsamma som ett elements längdriktning

B

Betongseparation – separation av betong orsakad av sedimentering
Böjspanning, Böjmoment – moment eller spänning som orsakar böjning i ett element

E

Egentyngd - tyngden orsakad av elementet självt dvs elementets tyngd.

F

Fastinspänd – inspänningsvariant som kan hantera moment, normal- och tvärkraft

H

Hållfasthet - ett materials förmåga att motstå formförändring
Horisontallaster – en last som verkar i horisontell riktning t ex vindlast

J

Just-in-time – begrepp inom logistik då en leverans ankommer i precis rätt tid

K

Klimatskal- husets ytterhölje, det vill säga väggar, golv och tak. I klimatskalet ingår förstås också husets fönster och ytterdörrar

L

Last- (numera bl. fys. l. tekn.) allmännare: ngt som uppbäres av (o. nedtynger) ngt annat, börda, tyngd, belastning, "motstånd"

M

Murverk - byggnadsdel av mursten

P

Plastisk deformation – omformning av material som inte återgår till dess ursprungliga utseende
Pendelpelare – pelare som endast hanterar vertikalkrafter och är fri till att rotera i båda ändarna
Produktionsteknisk lösning – En idé om hur produktionen skall utföras

S

Struktursystem, bärande Stomme, Stomme se avsnitt 2,1
Skjuvväggar – bärande väggelement som kan hantera horisontallaster

U

Utkragande element – element som sticker ut från huskroppen alt från en konstruktion.

V

Vindlast – last orsakad av vind

Innehållsförteckning

<u>1</u>	<u>INLEDNING</u>	<u>1</u>
1.1	SYFTE	1
1.2	AVGRÄNSNINGAR	1
1.3	METODIK	1
1.4	MÅLGRUPP	1
1.5	DEFINITION AV HÖGHUS, SKYSKRAPA & SUPER-HÖG KONSTRUKTION	2
1.6	HISTORIA	4
1.6.1	FORNTID OCH 1800-TAL	4
1.6.2	1900-TALET	4
1.6.3	2000-TALET	7
<u>2</u>	<u>KONSTRUKTIONSPRINCIPER</u>	<u>9</u>
2.1	STOMSYSTEM	9
2.1.1	STÅL	10
2.1.2	BETONG	11
2.1.3	INVÄNDIGT BÄRSYSTEM	12
2.1.4	UTVÄNDIGT BÄRSYSTEM	14
2.2	PRODUKTIONSTEKNIK	18
2.2.1	BETONGPUMPNING	18
2.2.2	BETONGFORMAR	19
2.2.3	LOGISTIK	20
2.2.4	VERTIKAL TRANSPORT	21
<u>3</u>	<u>INTERVJUER OCH FALLSTUDIER</u>	<u>23</u>
3.1	STOMVAL	23
3.1.1	PROJEKTLEDARE	23
3.1.2	KONSTRUKTÖRER	23
3.1.3	LEVERANTÖRER	24
3.1.4	ARTIKLAR	24
3.2	PRODUKTIONSTEKNIK	27
3.2.1	PROJEKTLEDARE	27
3.2.2	KONSTRUKTÖRER	27
3.2.3	LEVERANTÖRER	28
3.2.4	ARTIKLAR	28
3.3	FALLSTUDIER	32
3.3.1	TURNING TORSO, MALMÖ, SVERIGE	32
3.3.2	EMPIRE STATE BUILDING, NEW YORK, USA	34
3.3.3	ALA MOANA HOTEL, HONOLULU, HAWAII	35

4	<u>DISKUSSION</u>	37
4.1	VAD KOMMER ATT SKE I FRAMTIDEN FÖR HÖGHUS?	37
4.2	FRAMTIDENS MATERIALVAL	38
4.3	PRODUKTIONSTEKNIK FÖR ATT ÅSTADKOMMA DESSA	38
4.3.1	FRÅGAN BESTÅR, VILKET MATERIAL SKALL MAN VÄLJA VID BYGGNATION AV HÖGHUS?	39
4.3.2	PLATSGJUTEN ELLER PREFABRICERAD BETONG?	40
4.3.3	FINNS DET NÅGRA INTRESSANTA ALTERNATIV TILL KONVENTIONELLA BYGGMETODER?	40
5	<u>SLUTSATS</u>	41
5.1	VAD INNEBÄR DETTA FÖR SVERIGE?	41
6	<u>REFERENSER</u>	43
6.1	LITTERATUR	43
6.2	POPULÄRVETENSKAPLIGAARTIKLAR	43
6.3	INTERNET	44
6.4	INTERVJUER	45
6.5	FIGURER	46
7	<u>APPENDIX</u>	49
7.1	FRÅGEFORMULÄR FÖR INTERVJUER	49
7.1.1	PROJEKTLEDARE	49
7.1.2	KONSTRUKTÖRER	49
7.1.3	LEVERANTÖRER	49

1 Inledning

1.1 Syfte

Syftet med rapporten är att möta intresset för höga hus i Sverige. Det finns aktörer som har visat ett starkt intresse för att bygga högt i Sverige men det finns ingen tradition av höghusbyggande i Sverige. Därför studeras i denna rapport vilka som är de avgörande faktorerna vid byggande av höghus. För att i slutändan göra en återkoppling till den svenska marknaden och se vilka möjligheter som föreligger.

Målet är att kunna precisera vilket stomval och vilken produktionsmetod som är lämplig vid byggande av högre hus i Sverige. Dessutom ge en helhetsbild kring höghusprojekt d.v.s. allt ifrån hur man går tillväga för att göra dem ekonomiskt försvarbara till att komfortkraven är uppfyllda.

Frågeställningar:

”Hur görs stomvalet och hur har höga hus byggts fram till idag?”

”Vilka idéer och framtida tekniker väntar?”

1.2 Avgränsningar

Målet är att rapporten skall återspegla höghusbyggande i Sverige. Litteratursökningen utförs därför med detta i åtanke, genom att jämföra vad som är möjligt ur ett globalt perspektiv och vad som finns tillgängligt på den svenska marknaden. Under intervjuerna har frågeställningarna att anpassats för byggnader med höjden 150 - 200 m.

1.3 Metodik

En omfattande litteraturstudie har gjorts för att författaren skall läsa in sig på ämnet och få djupare förståelse. Informationen inhämtas från både den svenska och internationella byggindustrin. Detta görs genom intervjuer med nyckelpersoner som varit involverade eller ledare av höghusprojekt. Erfarenheterna sammanställs i rapporten och varvid en analys görs och slutsatser formuleras.

1.4 Målgrupp

Denna rapport riktar sig mot människor som är eller har varit aktiva inom byggbranschen och främst mot projektledare, konstruktörer och leverantörer av stommaterial (stål, betong). Men för att underlätta för övriga läsare har en ordlista bifogats över branschspecifika ord.

1.5 Definition av höghus, skyskrapa & super-hög konstruktion

Ett högt hus eller en skyskrapa är enligt definitionen ”*Ett hus som sträcker sig märkbart högre än sin omgivning*” (Eisele & Kloft, 2003). Trots den givna definitionen finns det inga internationellt vedertagna mått på vad som är ett högt hus och vad som är en skyskrapa. Eftersom arkitekturen skiljer sig mellan olika städer blir ett högt hus i Stockholm, t ex Kista Science Tower (117,2 m), ett i mängden i en stad som Chicago.

Ordet skyskrapa användes först i den marina världen och antydde då på masten i segelbåten. Betydelsen av ordet är att konstruktionen i fråga är så pass hög att den anses ”skrapa skyn” därav namnet skyskrapa (Britannica, 2009).

Definitionerna nedan hämtas från Emporis och CTBUH’s¹ databaser:

Höga hus (*High-Rise Building* eng) avser byggnader med höjd i intervallet 35 – 100 m, i de fall då höjden är okänd definieras en byggnad som ett högt hus där våningsantalet minst är 12 och maximalt 40. Att ange våningsantalet som mått höjden anses vara ett sämre alternativ, då våningshöjden kan variera och att våningsplanen kan börja under marknivå (Emporis, 2009;CTBUH, 2009).

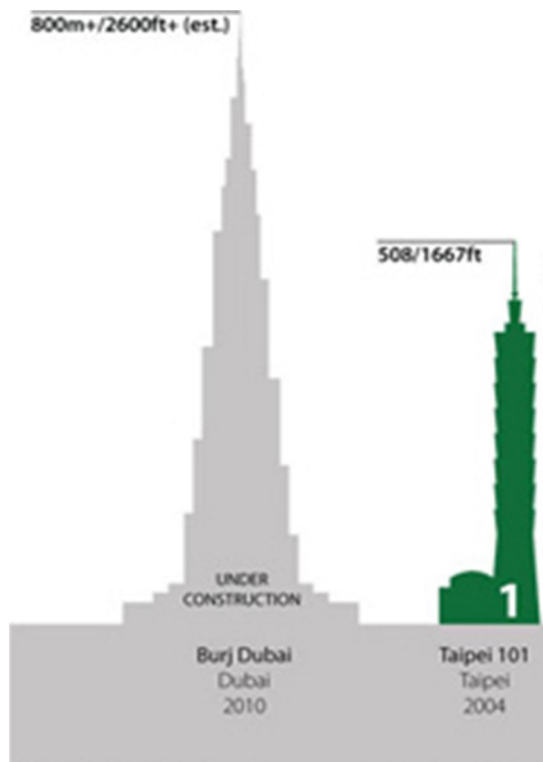
Höjden behöver inte alltid vara avgörande för att en byggnad skall betraktas som ett högt hus. Det kan vara tillräckligt att betydande delar av stommen är utformade på ett sätt som är specifikt för höga hus. Förhållandet mellan höjden och bredden kan också vara avgörande, då ett traditionellt hög hus är mycket slankt i förhållande till sin längd. Det finns dock hus som inte är speciellt höga men tillräckligt slanka för att betraktas som höga hus eftersom de dimensionerande lasterna i konstruktionen är av samma typ som för höga hus (CTBUH, 2009).

Skyskrapa (*Skyscraper* eng.) är en flervåningsbyggnad som är beboelig och vars höjd överstiger 100m (Emporis, 2009).

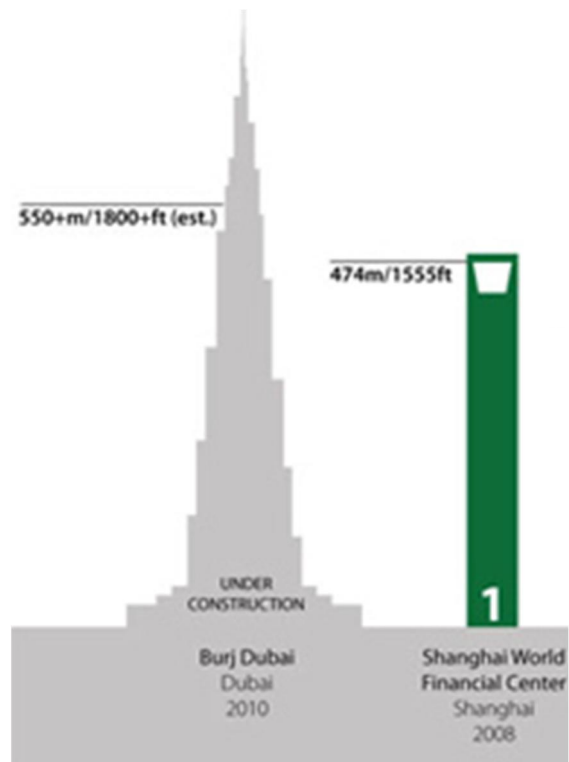
Eftersom byggnaderna blir högre och högre har man infört en ny definition nämligen ”*Supertall*”. Denna kategori har dock ingen motsvarighet på svenska och benämns därför som ”*Super-höga*” i detta arbete. Definitionen för en konstruktion av detta slag är att den reser sig mer än 300m ovan mark och det föreligger inga krav på att konstruktionen skall vara beboelig (CTBUH, 2009).

De som fastställer den offentliga höjden på en byggnad är organisationen CTBUH. Det råder meningsskiljaktigheter kring vilken höjd på konstruktionen som är dess officiella höjd, därför är CTBUH tvungna att fastställa höjden enligt flera kategorier (se figur 1).

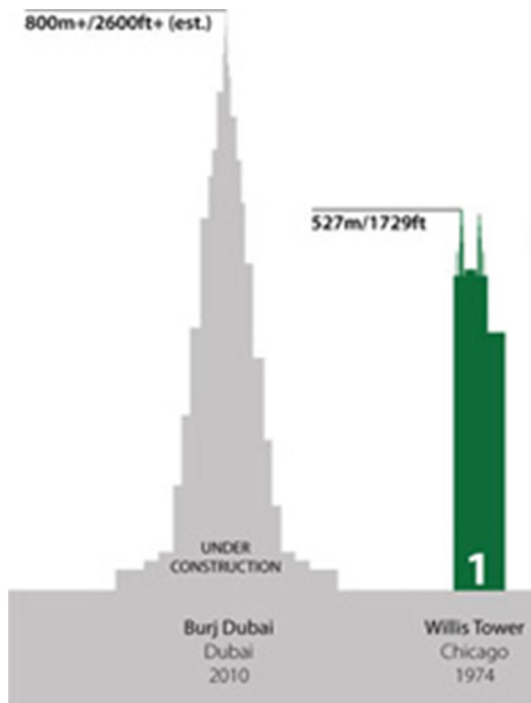
¹Council on Tall Buildings and Urban Habitat



Marknivå till högsta punkt på konstruktionen inklusive spiror men exklusive antenner och flaggstänger



Marknivå till högsta använda våningsplan inomhus exklusive service ytor



Marknivå till högsta punkt på konstruktionen inklusive spiror, antenner och flaggstänger

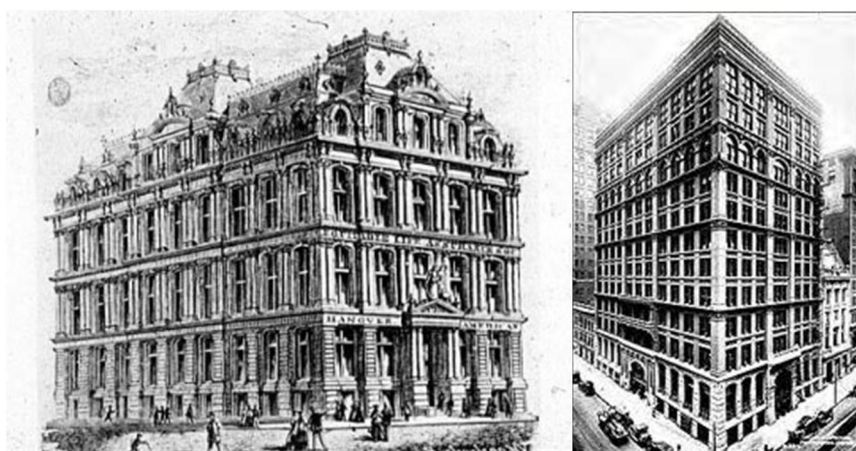
Figur 1, De tre figurerna ovan illustrerar CTBUH's höjdkategorier

1.6 Historia

1.6.1 Forntid och 1800-tal

Arkeologiska fynd har visat att höga byggnader har funnits redan innan Kristus födelse. De bakomliggande faktorerna då var annorlunda, människan strävade efter att komma närmare Gud med t ex Babylons Torn (Eisele&Kloft, 2003).

Under senare delen av 1800-talet skedde en stor utveckling av höga hus i USA. Detta berodde på många faktorer, främst urbaniseringen av städer som Chicago och New York. Detta ledde till att behovet av bostäder blev enormt, vilket ställde stora krav på stadsplanerarna. Dessa var tvungna att skapa mycket bostadsyta på relativt liten plats. Uppfinnandet av hissen, vilket skedde under denna tidsperiod, gav en förlösande effekt på byggandet av höga hus. Tidigare hade det inte varit möjligt att bygga mer än ett par våningar, då våningsantalet begränsades av människans förmåga att bestiga trappor (CTBUH, 1980).



Figur 2, The Equitable Life Assurance Building, New York 1870 & Home Insurance Building, Chicago 1885

Med den nyfunna kunskapen byggdes världens första byggnad med passagerarhissar i New York, The Equitable Life Assurance Building, se figur 2. Det tekniska genombrottet som hissen innebar möjliggjorde att det kunde byggas ännu högre, detta presenterade dock andra byggtekniska besvär. Det huvudsakliga bekymret var föranlett av att man använde sig av murverk som bärande stomme. Murverkets egentyngd i kombination med lasterna på konstruktionen medförde att väggtjockleken kunde bli upp till 2 m (Schueller, 1977).

Det behövdes material med en markant lägre egenvikt med bibehållen hållfasthet, alternativen som presenterades var stål och betong. Fram till denna tidpunkt hade konstruktörerna främst fört ned lasterna i ytterväggarna. När man nu stod inför en ändring av byggnadsmaterial var man tvungen att anpassa stommen efter de nya materialens egenskaper, vilket resulterade i att man förde ned lasterna genom ett bärande skelett i stål. Första byggnaden att byggas på detta sätt var Home Insurance Building 1885 i Chicago se figur 2. Denna byggnad blev även kallad världens första skyskrapa och stomtypen blev kallad för ”Chicago Skeleton”. Färdigställandet av Home Insurance Building utgjorde startskottet för den moderna byggteknologin (Schueller, 1977).

1.6.2 1900-talet

Under tidigt 1900-tal var framställningsprocesserna av stål och betong fortfarande väldigt kostsamma och energikrävande. Det förekom exempelvis att betongen blandades på byggplatsen eftersom betongen annars riskerade att separera vid transporten från fabriken (Ali, 2001).

När man använde murverk som bärande stomme blev vindlasterna små i förhållande till egenvikten på stommen. Förhållandena möjliggjorde att stommen betraktades som styv och därmed försumrades vindlasterna. Ingenjörskonsten som framträtt medförde att vindlasterna blev större i förhållande till egenvikten på den bärande stommen. Den nya situationen som uppträtt kan betraktas som en milstolpe för ingenjörerna. De blev tvungna att dimensionera konstruktionen för horisontallaster, följaktligen var stålegenskaperna och konstruktionslösningarna tvungna att förfinas och förbättras (Schueller, 1977).

När industrialiseringen tog fart utvecklades standardiserade framställningsmetoder för stål vilket sänkte kostnaderna för stålhantering och byggandet kunde ta fart. Under första halvan av 1900-talet byggdes husen i synnerhet med stålstomme, exempelvis byggdes 103-våningsbyggnaden Empire State Building i New York år 1931, se figur 3 (Schueller, 1977).



Figur 3, Empire State Building, New York 1931

Efter andra världskrigets slut följde en god världsekonomisk period, höga hus och även skyskrapor började växa fram på olika kontinenter. Denna tidsperiod ses som ”Den andra eran av höghus byggande”. Låga energikostnader och arkitekters samförstånd att framhäva höga byggnader som ett glasprisma präglar denna tidsperiod. Vilket innebar att arkitekterna ville skapa byggnader med stort ljusinsläpp. För att det skulle vara möjligt behövdes s.k. ”*Curtain Walls*”, se figur 4.

”*Curtain Walls*” blev först framtagna vid ett tidsskede då byggvärlden inte var redo. När branschen kom ikapp med utveckling av luftkonditionering, fluorescerande ljussättning och syntetisk gummi kunde metoden användas i större utsträckning. ”*Curtain Walls*” metoden innebär att ytterväggarna hänger likt gardiner kring byggnaden och fungerar enbart som ett klimatskal utan någon bärförmåga (Britannica, 2009).



Figur 4 , t.v. första byggnaden med ”*Curtain Walls*”, Hallidie Building, San Fransisco 1918
t.h. Världens högsta byggnad 1973-1997, Willis ”f.d. Sears” Tower, Chicago 1973

Genoms att ”*Curtain Walls*” började användas utvecklades även stomsystemen. En mycket framstående ingenjör som ofta refereras till som ”*konstruktionsteknikens Einstein*” är Fazlur Khan. Han var ingenjören som utvecklade de s.k. ”*Tub-systemen*”. Han rangordnade olika struktursystem beroende på vilken höjd de var ämnade för (se figurer 6,8,9,11).

Den nya stomstrukturen kom att revolutionera byggandet av höga hus. En av effekterna som var väldigt gynnsam för byggandet av höga byggnader var att materialanvändningen blev mycket effektivare. Exempelvis var stålåtgången på 60 våningsbyggnaden, Chase Manhattan Bank Building (1961), som byggdes med en vanlig stålstomme ca 275 kg/m². Jämfört med 100-våningsbyggnaden, John Hancock (1969), som utfördes med ett ”*tub-system*” krävde ca 145 kg/m². Fazlur Khan var även ingenjören bakom bl. a Sears Tower, som även den utformades med ett tub-stomsystem och den kom att bli världens högsta hus i inte mindre än 24 år, se figur 4 (Ali, 2001).

1.6.3 2000-talet

Dagens skysrapor har börjat växa fram i andra delar av världen, där Asien har visat framfötterna med världens två högsta färdigställda skysrapor, Taipei 101, Taiwan 2004 och Burj Dubai, Förenade Arabemiraten 2010. Burj Dubai tog över titeln från Taipei 101 med sina 828 m ö h, vilket är en märkbar höjning på ca 300 m.

Det som har möjliggjort vidareutvecklingen är bl. a utvecklingen av hållfastare och lättare byggnadsmaterial, dessutom har datorkraften utvecklats enormt de senaste decennierna. Datorernas otroliga utveckling har medfört att modellering av komplicerade struktursystem har blivit enklare att hantera (Krog, 2008). Möjligheten att optimera enskilda konstruktionsdelar så att en högre utnyttjandegrad erhålls och på så sätt skapa en effektivare materialåtgång har framkommit. Produktionstekniken har även den förbättrats med t ex ”top-down” metoden som möjliggör byggande på två håll vilket minskar den totala byggnadstiden, för mer ingående beskrivning se avsnitt 3.2.4 (Höweler, 2003).

Det finns planer på super-höga byggnader som exempelvis Nakheel Tower, vilka påstås spränga 1000 meters barriären. Dessa har dock inte påbörjats än utan förslagen har lagts fram och i skrivande stund ordnar man med finansiering, (Trade Arabia Business, 2009).

Under historiens gång har det flera gånger spekulerats kring att skapa en konstruktion med möjligheten att ersätta en hel stad. På senare tid har politiker i samråd med ingenjörer i Tokyo gjort allvar av dessa spekulationer och börjat ta fram handlingar för en konstruktion som kallas ”*Sky City 1000*”. Bakgrunden är att fastighetspriserna i Tokyo är skyhöga och att trängseln börjar bli outhärdlig. ”*Sky City 1000*” är föreslagen att nå 1000 meters höjd och husera inte mindre än 36 000 bostäder och 100 000 arbetsplatser. Byggnaden skall motsvara en vanlig stad med möjlighet för utbildning, shopping, grönområden m.m. (Ali & Armstrong, 2008).



Figur 5, Nakheel Tower, Dubai (Färdigställande ej känt)

2 Konstruktionsprinciper

I detta avsnitt eftersträvar författaren att presentera den huvudsakliga teorin kring stomsystem och produktionsteknik för höga hus.

2.1 Stomsystem

Stomsystemet, även benämnt ”stommen” i talspråk, är ryggraden i huset d.v.s. den del av huset som bär upp byggnaden. Kraven som stomsystemen skall uppfylla är många, de främsta kraven kommer från den enskilda människan där god komfort efterfrågas. Vilket bl. a betyder goda akustiska och vibrationsdämpande egenskaper. Beroende på önskade egenskaper på huset som höjd, form, arkitektonisk utseende m.m. väljs olika typer av stomsystem. Dessutom skall stomsystemet bibehålla sin bärande förmåga vid oförutsägbara händelser som jordbävningar, explosioner och terrorattacker (Ali & Moon, 2007).

Evolutionen av stomsystemen har blivit en följd av viljan att effektivisera materialåtgång, utnyttjad areaandel och att öka byggnadens höjd. Därför har stomsystemens utnyttjandegrad optimerats och kommer att fortsätta att optimeras i framtiden med ständigt utvecklande av nya material med bättre egenskaper. Att optimera utnyttjandegraden av stomsystemet betyder att beståndsdelarna i stomsystemet är belastade till den kapacitetsnivå som är maximal enligt ställda krav. Materialets hållfasthet kan tillåta högre belastning men säkerhetsföreskrifter förbjuder en högre belastningsgrad (Eisele & Kloft, 2003).

Eftersom höga hus i hög utsträckning sträcker sig högre än sin omgivning blir de utsatta för högre vindtryck än sin omgivning, därav blir horisontella laster dimensionerande (Ali & Moon 2007).

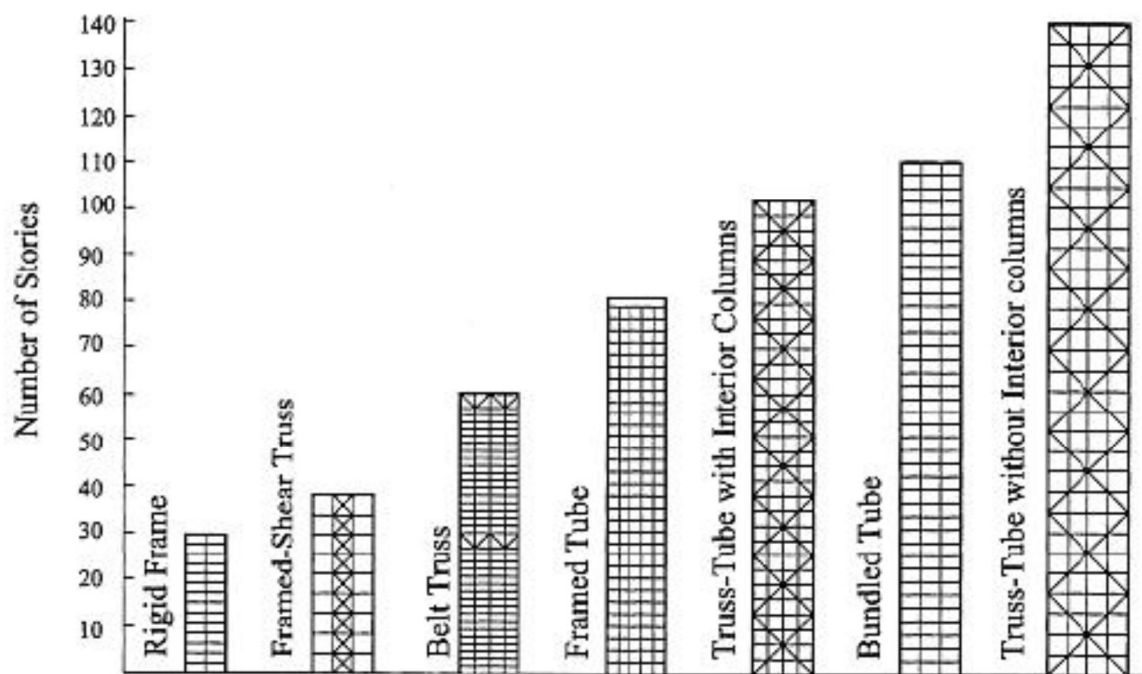
De stomsystem som har dominerat och dominerar just nu kan delas in i fyra grupper Stål –, Betong –, Invändigt– och Utvändigt bärsystem (Eisele & Kloft, 2003).

2.1.1 Stål

Som tidigare nämnts, i kapitel 1.2 Historia, användes murverk vid utförandet av högre byggnader kring sent 1800-tal. Eftersom ekonomin och viljan att maximera boytan var drivande faktorer blev stål ett alternativ (Eisele & Kloft, 2003).

Stål i form av fackverk med vertikala och horisontella element gjorde att ingenjörerna och arkitekterna kunde uppnå högre höjder med sina konstruktioner. Byggnadens stabilitet berodde inte längre på byggnadsmaterialens hållfasthet, snarare blev styvheten i stomsystem dimensionerande, d.v.s. hur elementen i stomsystemen ”samarbetade” (Ali & Moon, 2007).

Detta resulterade i en vidareutveckling av det befintliga pelare-balksystemet till ett antal olika system. I figur 6 illustreras ett urval av stomsystem som är utformade i stål (Eisele & Kloft, 2003).

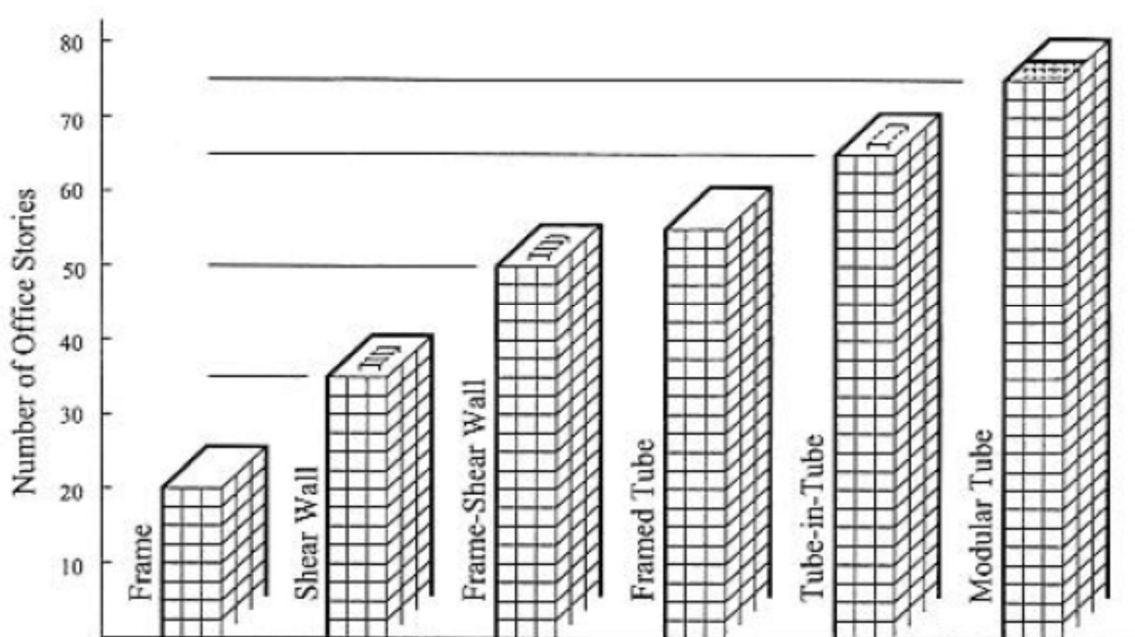


Figur 6, Stomsystem i stål rangordnade efter deras rekommenderade bygghöjd

2.1.2 Betong

När betong började användas i början på 1900-talet utformades det att efterlikna ett fackverkssystem i stål. Detta gjorde att betongen inte hade en tillräckligt hög utnyttjandegrad, därför blev stål premierat framför betong. När betongegenskaperna studerats och metoderna justerats efter betongens egenskaper blev materialet ett vedertaget byggmaterial. Ingenjörerna insåg betongens styrka i att hantera stora trycklaster och gällande dess svaghet, draghållfastheten, förseddes betongen med armering. Anledningarna till att betong har haft en stor genomslagskraft är många. Betong kan anpassas till många olika former, installationer kan ”gömmas” i betong, betong har även goda brand-, akustik- och vibrationsdämpande egenskaper.

Eftersom betong är ett kompositmaterial där beståndsdelarna kan anpassas, blir användningsområdet stort. Nedan illustreras ett urval av stomsystem i betong som kan användas vid byggande av högre konstruktioner (Ali, 2001).



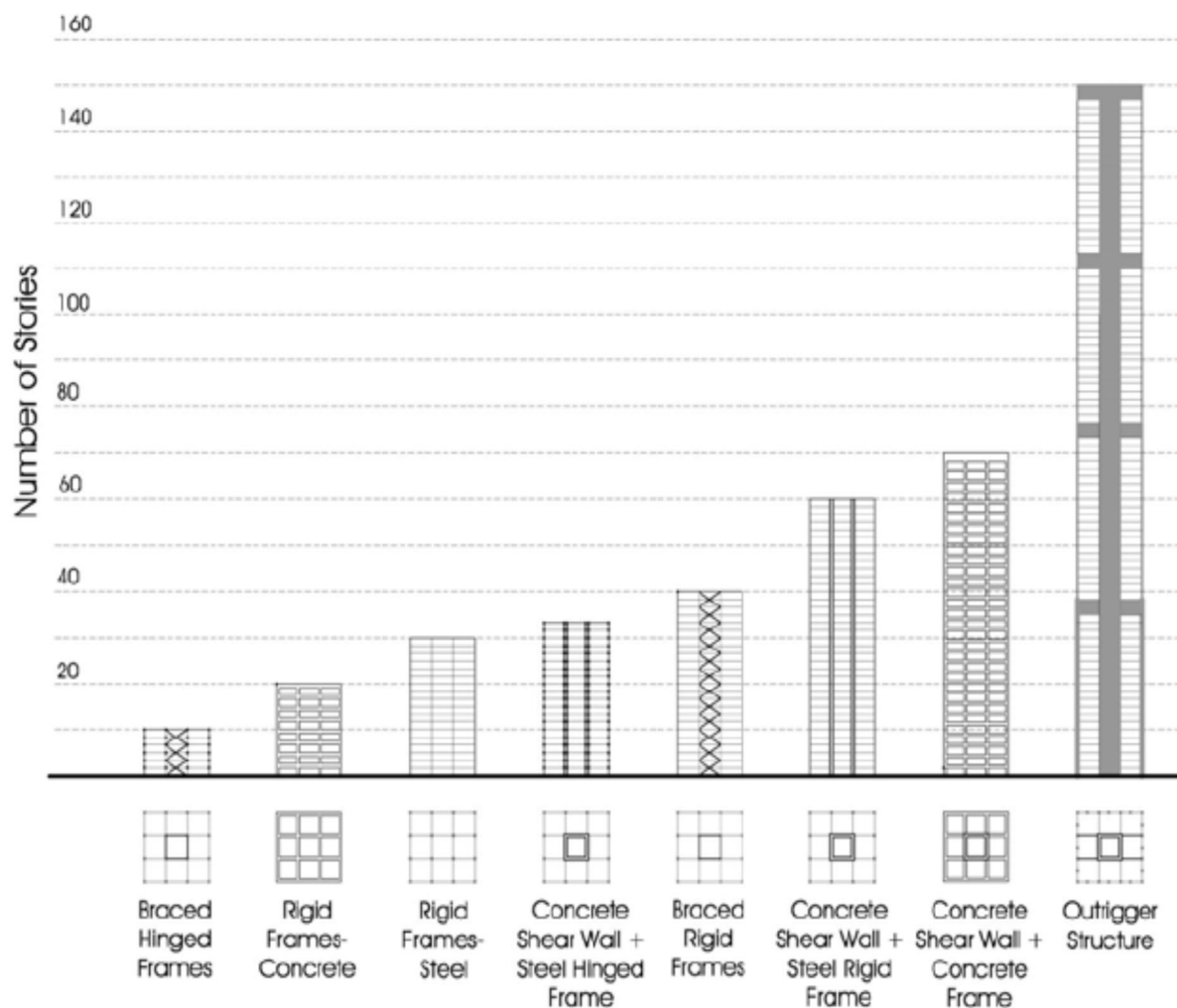
Figur 7, Stomsystem i betong rangordnade efter rekommenderad höjd

Betong kan med fördel utformas som bärande skjuvväggar vid stabilisering av konstruktioner, eftersom skjuvväggar kan hantera stora horisontella laster och har goda brandegenskaper. Dessutom ger väggarna en stor flexibilitet då de vid behov kan sammankopplas via balkar och/eller via bjälklagen för att göra diverse öppningar som dörr-, fönster- och installationshål. Denna väggtyp är inte lämplig i seismiskt aktiva områden, då väggarna har dåliga plastiska deformationsegenskaper (Schueller, 1977; CTBUH, 1980; Eisele&Kloft, 2003).

Den innovation som har varit mest betydelsefull för höghus-byggande är möjligheten att pumpa betongen till extrema höjder. Historiskt sett har de flesta super-höga byggnaderna varit utformade i stål, men under 2000-talet har trenden brutits. Betongkonstruktioner har blivit ett alternativ för superhöga byggnader. En av de bakomliggande orsakerna är att enskilda betongelement har blivit slankare och därmed fått en lägre egenvikt, dessutom har pumpning av betong nått nya höjder (606 m, Burj Dubai). Ytterligare en bakomliggande faktor är utvecklingen av det kombinerade stomsystemet med en betongkärna och utspridda skjuvväggar, se figur 9 (Outrigger structure) (Ali, 2001; Putzmeister, 2009).

2.1.3 Invändigt bärsystem

Invändigt bärsystem definieras som ett system vars huvudsakliga bärverk ligger inne i konstruktionen och är dolt på fasaden. Det är dock möjligt att delar av bärverket är synligt på fasaden. Ett par exempel på invändiga bärsystem är s.k. MRF-system (*Moment Resisting Frames*), skjuvväggar och stomsystem med en stabiliserande kärna försedd med utkragande element (*Outrigger structure* eng, fig 9). Det sistnämnda systemet används i stor utsträckning världen över vid byggande av superhöga byggnader däribland Jin Mao Building (Shanghai, Kina) och Taipei 101 (Taipei, Taiwan) (Ali & Moon, 2007).

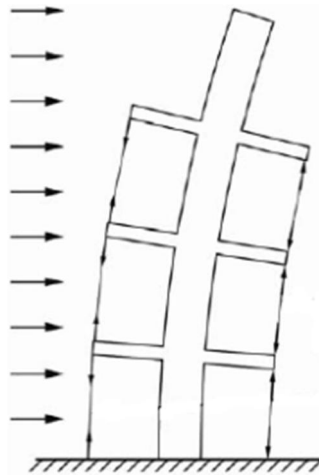


Figur 8, Invändiga bärsystem rangordnade efter rekommenderad höjd

2.1.3.1 Kärna med utkragande element

Uppbyggnaden av systemet består av en stabiliserande kärna som sträcker sig genom hela konstruktionens höjd. Kärnan placeras antingen i mitten på konstruktionen eller i ena änden med element som sträcker sig till fasaden. Kärnan kan liknas vid en jättelik pelare som är fast inspänd, eftersom kärnan för ned alla horisontella laster kan böjspänningarna i kärnans infästning bli väldigt stora. För att lösa detta har man element som kragar ut från kärnan som skall sprida lasten från kärnan till pendelpelare i fasaden. På detta sätt minskas böjmomentet som annars hade verkat på pelarfoten.

De horisontella lasterna som uppkommer vid fasaden förs in till kärnan via utkragande elementen. De utkragande elementen kan utformas både i fackverk av stål eller väggar av betong (illustration ges av figur 9). Dessa kräver normalt väldigt mycket utrymme, varför man placerar dem på våningsplan som inte är beboeliga tillsammans med diverse installationer. Detta stomsystem har blivit populärt, eftersom det går att uppnå höga höjder med stomsystemet samtidigt som det ger arkitekten stora möjligheter (Ali & Moon, 2007).

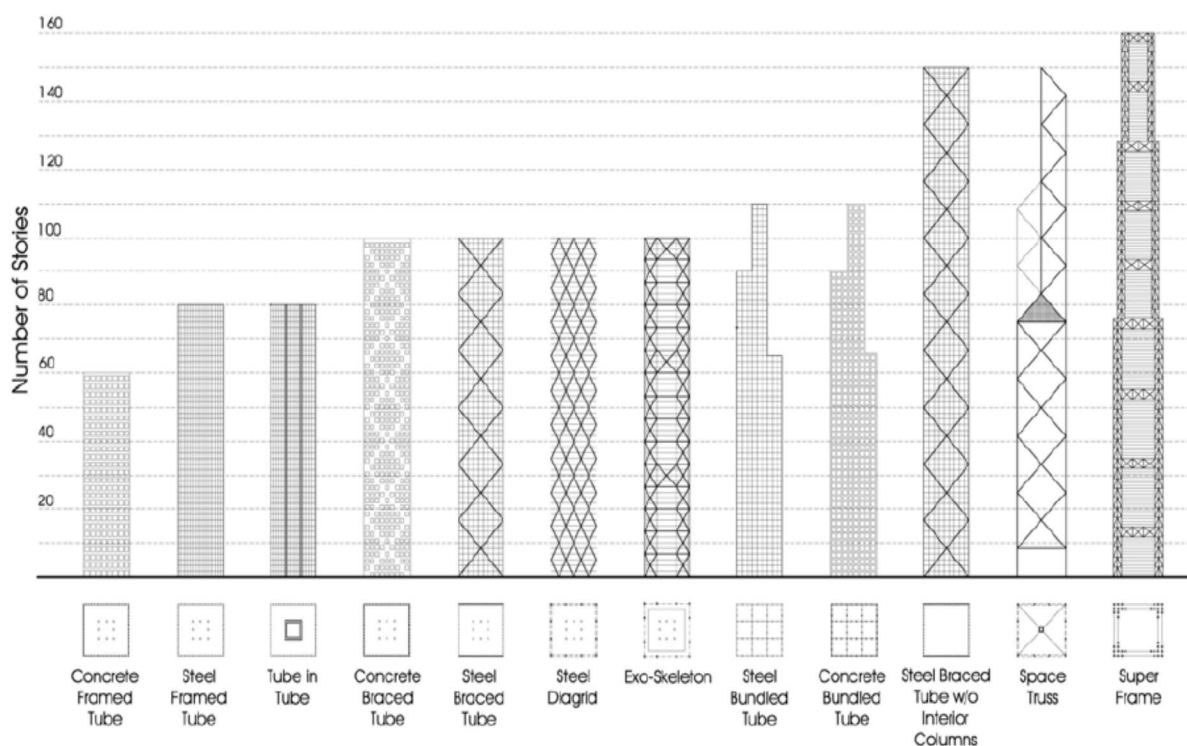


Figur 9, Kärna med utkragande element på fasadpelare, där pelarna är både tryckta och dragna

2.1.4 Utvändigt bärsystem

Ett stomsystem som i huvudsak hanterar lasterna via en konstruktion som är synlig på fasaden sägs vara ett utvändigt bärsystem. Vid byggande av höga konstruktioner blir motståndskraften mot horisontella laster mer väsentlig. Detta eftersom vindlasterna och därmed de horisontella lasterna ökar mer än dubbelt per längdenhet. Ett av de mest effektiva sätten att hantera situationen är att utnyttja fasaden.

Denna utformning tillåter ett öppet interiört landskap, samtidigt begränsas möjligheterna för fasadens utseende. Stomsystem som är utformade att uppträda på detta sätt är tub-system, triangulärt fackverksystem (*diagrid-system* eng.) och super-stomme (*super frame* eng.) för att nämna ett par. I figuren nedan ges exempel på hur dessa stomsystem kan vara utformade (Ali & Moon, 2007).



Figur 10, Konstruktioner med utvändigt stomsystem rangordnade efter rekommenderad höjd

2.1.4.1 Tub-system

Den första ingenjören som utnyttjade fackverken i tre dimensioner var Fazlur Khan, när han utvecklade det s.k. ”*tub-systemet*”. Systemet gör att konstruktionen kan liknas vid en ihålig pelare med en fast inspänd ände. I den enkla varianten av systemet förs alla horisontella laster ned i det yttre höljet av konstruktionen. Det yttre höljet består av pelare med ett kort inbördes avstånd, dessa pelare är sedan sammanfogade med balkarna genom momentstyva infästningar (Ali, 2001).

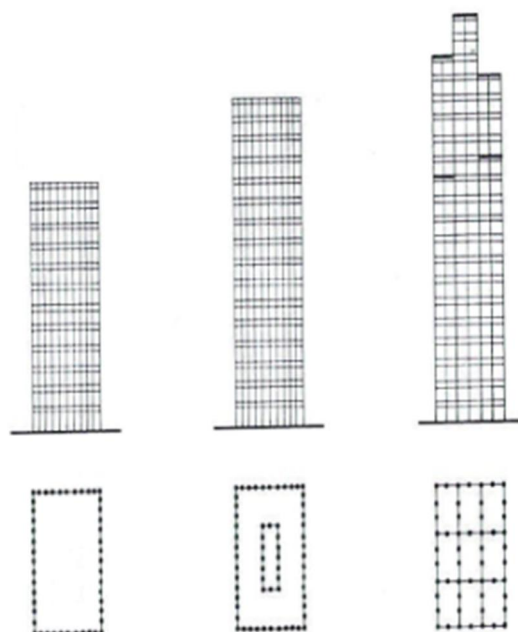
Denna lösning gör att den inre delen av konstruktionen endast behöver hantera vertikala laster. Därmed blir de element som skall bära lasterna väldigt få och våningsplanen blir flexibla och kan anpassas för olika användningsområden. Denna konstruktionsform ger arkitekten stor möjlighet att arrangera kontorslandskap. En gynnsam effekt är att konstruktionen kan utformas i fler former än det vanliga kvadratiske eller rektangulära tvärsnittet (Schueller, 1977; Ali, 2001).

Genombrottet med tubstommen medförde att metoden tillämpades vid olika förhållanden och att olika varianter på stomsystem utvecklades. En av de första varianterna är den enkla tubvarianten med diagonalstag i fasaden. Denna modifikation möjliggjorde att färre pelare i fasaden var nödvändiga eftersom diagonalen kunde föra ned de horisontella lasterna till grunden. En av fördelarna med denna tubvariant är att materialanvändningen blir väldigt effektiv. Det tydligaste exemplet på denna konstruktionstyp är John Hancock Building, 1970 Chicago, se figuren nedan (Ali, 2001).



Figur 11, John Hancock Building, 1970 Chicago

En tredje variant på tubstommen är en konstruktion som består av flera mindre tuber som är sammanfogade. Dessa tuber slutar sedan vid olika höjder vilket genererar att byggnaden blir lättare och omfångsarean blir mindre desto högre konstruktionen blir. Detta i sin tur blir gynnsamt då basen på konstruktionen blir väldigt stabil (Eisele & Kloft, 2003).



Figur 12, Enkel tub-stom, m tub-i-tub, t.h. sammanfogade tuber

Den enkla tubstommen kan utvecklas till tub-i-tubsystem, vilket betyder att det yttre höljet förstärks genom en inre kärna som klarar av horisontella laster. Sammanfogningen av den inre kärnan och det yttre fackverket kan göras via bjälklagen. De tubstommar som är nämnda är de vanligaste. Det förekommer att stomsystem utformas som en kombination av flera olika tub-varianter eller tub-system med ett annat stomsystem. Detta för att utnyttja fördelarna av de olika systemens styrkor och skapa ett optimalt stomsystem (Eisele & Kloft, 2003).

2.1.4.2 Triangulärt fackverkssystem

Ett stomsystem som först utvecklades på 1970-talet har blivit införlivat på nytt. Det s.k. ”*diagrid-system*”, triangulärt fackverkssystem på svenska. Systemet har ett yttre hölje i form av ett fackverk, men stomelementen i fackverket är snedställda. På detta sätt skapas ett triangulärt fackverk. Det geniala med systemet är att både vertikala laster och horisontella laster kan föras ned effektivt i fasaden. Eftersom fackverket är snedställt belastas de ingående elementen axiellt av de horisontella lasterna. Eftersom bärförmågan för elementen är större axiellt kan större laster hanteras. I andra stomsystem belastas elementen i böjriktningen och därmed blir belastningskapaciteten lägre (Ali & Moon, 2007).

För att stabilisera systemet ytterligare kan kärnan engageras, härmed kan konstruktioner bli ännu högre. Det triangulära fackverket ger konstruktionen ett väldigt särpräglat yttre, en känd byggnad som har denna stomme är 30 St Mary Axe, London. Systemet kan utföras både i stål och i betong, byggnaderna kommer dock att få vitt skilda arkitektoniska utformningar, vilket åskådliggörs i figurerna nedan (Ali & Moon, 2007).



Figur 13, t.v. 30 St Mary Axe, London, ”*diagrid-system*” i stål;
t.h. COR - Building, Miami, ”*diagrid-system*” i betong.

2.2 Produktionsteknik

En generellt avgörande faktor inom byggindustrin är projektets byggbarhet, d.v.s. ”hur komplicerad/enkel är konstruktionen att uppföra?”. I ett tidigt skede i projekteringen måste diverse produktionstekniska lösningar beaktas. Ibland kan dessa bli avgörande, i synnerhet vid höghusbyggande. Hur stora element är möjliga att transportera?, vilken arbetskraft finns att tillgå?, hur högt kan betongen pumpas? är alla exempel på frågor som måste beaktas i produktionsfasen. Dessutom måste utformningen av varje enskilt element anpassas så att produktionen underlättas (Eisele & Kloft, 2003).

Som tidigare nämnt är det en rad tekniska genombrott som har visat vägen för höghusbyggande. Många av dem har varit avgörande produktionstekniska lösningar. Dessa utvecklas än idag och kommer att fortsätta att utvecklas för att skapa en effektivare, säkrare och mer ekonomisk produktionsprocess (Eisele & Kloft, 2003).

2.2.1 Betongpumpning

Betongens utveckling tog verklig fart då den blev ett erkänt byggnadsmaterial. Till en början förvarades betongingredienserna på bottenplan av konstruktionen, för att blandas för hand och sedan lyftas upp via kran till nödvändigt våningsplan. När betongtransporten först utvecklades förflyttades betongen i vanliga lastbilsflak. Eftersom komponenterna separerades under färden var det alltid nödvändigt att blanda betongen på nytt vid ankomst till byggplatsen. När den roterande lastbilen introducerats blev materialet mer tillgängligt, även vid höghusprojekt. Idag har utvecklingen nått så långt att pumpning är ett alternativ vid småhusbyggnationer (Ali, 2001).

Det som begränsar betongens pumphöjd är dess plastiska egenskaper, pumpkapaciteten och tillgängliga rörledningar. Världsrekordet i vertikal pumpning för en byggnad och en fristående konstruktion innehas i skrivande stund av Burj Dubai, på 606 m (Ali, 2001; Putzmeister, 2009).

2.2.2 Betongformar

Det finns en uppsjö av olika formalternativ för platsgjuten betong. Det är väldigt viktigt att välja rätt typ vid höghusbyggen för att minimera användningen av kranar. Då användning av kranar utgör en av de mest kritiska flaskhalsarna i produktionen, med en självlyftande form minskas behovet och kranarna användas för att flytta annat material.

De vanligaste formtyperna som används vid gjutning av kärnan i höghusbyggen är Glid- och Klätterformen. Glidformen är det snabbaste alternativet, men den stora nackdelen är att gjutningen inte kan avbrytas d.v.s. allt måste gjutas i en etapp. Klätterformen tar väsentligt mycket mer tid än glidformen, men gjutningen kan utföras etappvis och bekymmer med skarvar undviks.

Det användes en klätterform (se figur 15) vid byggandet av Turning Torso, Malmö. Formen lyfter sig själv till nästa våningsplan när betongen på det befintliga våningsplanet uppnått önskad mognadsgrad. Formen lyfter sig via hydrauliska armar som är fästa i betongen på lägre våningsplan som uppnått tillräcklig hållfasthet. (Ali, 2001; Hedin, 2009; Burj Dubai, 2009)



Figur 14 Klätterformen som användes vid Turning Torso

2.2.3 Logistik

Genom en välintegrerad logistik lösning kan produktionen underlättas mycket d.v.s. ett logistiksystem som tillåter produktionsfasen att fortgå utan hinder som t ex materialbrist. Det finns stora vinster att hämta både kostnadsmissigt och tidsmissigt. Det gäller att identifiera vilka faktorer som har de förlösande effekterna och hantera dem ingenjörsmissigt (Hagman, 2009).

Vid byggnationen av en skyskrapa är situationen extrem ur flera synvinklar. Material- och människoflödet är större än vid småhusprojekt. Det stora flödet av yrkesarbetare som skall till sina arbetsstationer på olika våningsplan och byggnadsmaterial som skall flyttas osv, gör att alla flödena är i stora kvantiteter på en förhållandevis liten yta. Allting måste planeras ut i minsta detalj för att produktionen skall fungera, i huvudsak för att den vertikala transporten är begränsande. Dessutom brukar höghus utformas mitt i stadskärnor vilket begränsar arbetsytan ytterligare. Följaktligen krävs det ytterligare samordning mellan leverantörer och beställare (Eisele & Kloft, 2003).

Tomten där konstruktionen uppförs kan betraktas som en "levande" yta, där utformningen av byggplatsen kan anpassas beroende på vilket skedde projektet befinner sig i. På detta sätt uppnås en högre flexibilitet och koordineringen underlättas (Adbelrazaq et al, 2008).

För att angripa dessa bekymmer vid byggnationen av Turning Torso fanns det upprättat en hall där materialet anlände senaste två dagar innan det skulle monteras på konstruktionen. Det var logistiksamordnarens uppgift att se till "Just-in-Time" leveranserna fungerade. Materialen kördes ut från lagerhallen till byggnationen under kvällstimarna då yrkesarbetarna slutat för dagen (Hedin, 2009).

2.2.4 Vertikal transport

Den vertikala transporten kan bli en stor flaskhals ifall transporten inte projekteras med stor noggrannhet. Därför måste koordineringen mellan människo- och materialflöde vara utförd på ett tillfredsställande sätt (Adbelrazaq et al, 2008). För att transportera material används i huvudsak kranar, hissar och liftar.



Figur 15 Bygghiss (t.v.) och Tornkran (t.h.) som användes vid Turning Torso

2.2.4.1 Kranar

Behovet av kranar är varierande beroende på vilken typ av stomsystem konstruktionen är baserad på och/eller konstruktionens höjd. Den krantyp som används vid höghusbyggen är primärt tornkranen (se figur 15). Fördelarna med denna krantyp är att den tar ytterst liten plats, den kan t.o.m vara byggd på konstruktionen. Dessutom har tornkranen en stor räckvidd, stor lastkapacitet och kan rotera 360 grader (Lieberr, 2009).

2.2.4.2 Hissar

Som understöd åt tornkranarna kan hissar byggas upp i eller kring konstruktionen. Dessa kan då fungera som persontransport och även transportera mindre material. På detta sätt blir användningen av tornkranarna effektivare och transportmöjligheterna större (Hedin, 2009). Under byggnation av både Turning Torso och Burj Dubai har det funnits en kombination av tornkranar och liftar, det ansågs vara den mest lämpliga kombinationen (Abdelrazaq Et al, 2008; Hedin, 2009).

3 Intervjuer och fallstudier

I detta avsnitt beskrivs den information som har samlats in genom litteraturstudie och intervjuer.

3.1 Stomval

De intervjuade har kommenterat vilket stomsystem som de tror kommer att dominera framtiden, svaren ses som spekulationer om framtiden.

3.1.1 Projektledare

Kent Hedin, NCC, menade att han hade valt en stabiliserande kärna i platsgjuten betong där bjälklagen är av håldäckselement med pågjutning. Pelarna och balkarna skulle ha varit utformade i stål med möjligheten att anpassas efter behov.

John Parker, WSP, säger att i dagens byggbransch blir det väldigt svårt för andra material att konkurrera med betong vid byggande av höga hus. Det finns utarbetade metoder och konkurrenskraftiga priser som gör att betongen dominerar. Vidare finns det många andra fördelar med betong däribland formbarheten, akustikegenskaperna, minimering av konstruktionshöjden på element m.m. Därför ser John att höghuskonstruktioner kommer både idag och i framtiden att stabiliseras av en betongkärna. Resterande elementen kan utföras i betong, men bör anpassas med hänsyn till projektens förutsättningar.

Projektledarna som blev intervjuade är inte verksamma i samma land, men deras förutsägelser om framtida stomsystem var ganska samstämmiga. De påtalar de stora fördelarna med betong som ett stabiliserande material. Det finns många vinster som kommer indirekt med användningen av betong så som goda brandegenskaper, akustik m.m.

3.1.2 Konstruktörer

Sven Thelandersson, professor vid LTH, under intervjun med Sven framkom det att stomsystem i stål dominerade vid förra sekelskiftet, i synnerhet vid höghusbyggande. Efter andra världskriget har det skett en enorm utveckling av betongtekniken. Sven berättar att när ett platsgjutet hus skulle produceras var man tvungen att hissa upp betongen i hinkar, idag kan man pumpa betongen till flera hundrameters höjd. I Sverige är kunskapsområdet kring betong stort, därför anser Sven att stomsystemen utförda i betong har en viss fördel.

Sten Forsström, SWECO, menade att höga konstruktioner genererar stora tryckspänningar i den lägre delen av stomsystemet. Därför lämpar sig armerad betong vid höghuskonstruktioner. Dessutom är traditionerna i byggande med platsgjuten betong svårslagen i Sverige

Karl-Johan Laag, SWECO, menade att traditionen i ett land har stor betydelse för hur man bygger. I Sverige finns inget utbrett tillvägagångssätt för hur man utformar höga hus. En platsgjuten betongkärna med stålpelare och platsgjutna bjälklag ger stor flexibilitet, som ofta är eftertraktad hos beställaren. Rent konstruktionstekniskt ger användningen av betong flera fördelar t ex att det motverkar lyft, genererar mindre accelerationer m.m. Karl-Johan menar att det finns starka traditioner i Sverige att bygga med prefabricerade element. Vilket kan komma att påverka höghusbyggnationen mot prefabricerade betong element.

Fredrik Carlsson, LTH, säger att det är svårt att avgöra vad som kommer att hända i framtiden. Fredrik tror på ett centralt bärande hisschakt med bjälklag som för in vindlasterna till kärnan. I Sverige är traditionerna som så att betong är det huvudsakliga materialet som används.

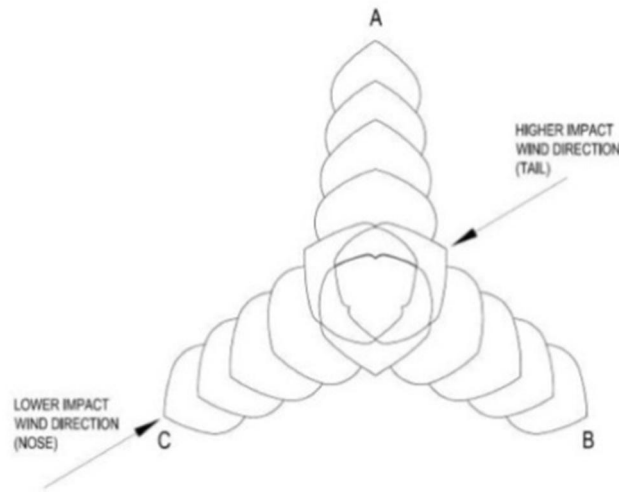
3.1.3 Leverantörer

Christer Isgren, OtB - Concrete, summerar intervjun med att betong antagligen inte kommer att förlora sin dominans. Anledningen är att utvecklingen av betongen går framåt, det uppnås hela tiden nya hållfastheter samt att pumpmöjligheterna konstant förbättras. Därför tror Christer också att fler och fler höghus kommer att utformas med en betongkärna och resterande konstruktionsdelar kan komma att variera.

3.1.4 Artiklar

Utveckling av ny teknik kommer när ett sådant behov uppstår. Fram till idag har utvecklingen varit riktad mot effektivisering av materialåtgången. Målet var att uppnå en väldigt styv konstruktion med stor motståndskraft mot horisontella laster (Ali & Moon, 2007). Evolutionen har på senare tid bytt riktning ifrån att effektivisera det enskilda materialet till att effektivisera hela stommen. Detta görs genom s.k. ”aerodynamisk” utformning av konstruktionen. Begreppet innebär att konstruktionen anpassas för att generera små vindlaster, detta görs genom att fasaden utformas med olika mönster som bryter vinden och minskar turbulensen. Följden blir att vindlasterna minskar trots att konstruktionen utsätts för samma vindhastighet (Ali & Moon, 2007).

Aerodynamisk utformning är högaktuell vid byggande av dagens skyskrapor exempelvis *Burj Dubai*. Den superhöga konstruktionen är utformad som ett Y (sett ovanifrån), med en gemensam kärna och tre grenar. Varje gren består av flera sammansatta tuber, dessa tuber upphör på olika höjder (se figur 16) och bildar avsatser. Dessa avsatser är till för att effekten av vindstötter skall minska d.v.s. att virvlarna inte träffar konstruktionen med full kraft utan avleds av avsatserna. Y-formen ger konstruktionen ytterligare stabilitet mot vindlaster, då den alltid har ett stödjeben vid anblåsning (Krog, 2008).



Figur 16, Burj Dubai principskiss sett ovanifrån

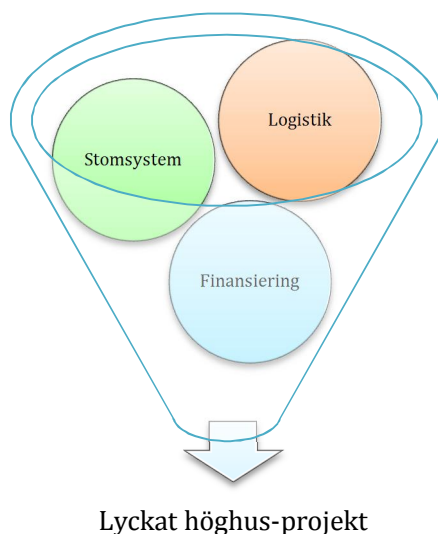
Nya tider innebär nya utmaningar, i takt med att datorkraften har utvecklats och civilingenjörer har fått tillgång till ny mer kraftfull programvara har arkitekter sett nya möjligheter för sina skapelser. Ett praktexempel på den nya teknologins framgång är Sveriges *Turning Torso*. Med dess vridna kropp är *Turning Torso* en föregångare till vad som kan väntas komma. Arkitekter i nära samarbete med civilingenjörer utnyttjar materialegenskaper och skapar konstruktioner som antar en mängd olika former (se figur 18). Det finns en utmärkande trend vid utvecklande av konstruktioner med komplicerad form, nämligen att stomsystemet ”*diagrid-system*” används (Krog, 2008), se avsnitt 2.1.4.2.



Figur 17, t.v. Chicago Spire, Chicago USA,
m. The Sail, Marina Bay Singapore,
t.h. The Phare Tower, Paris Frankrike

3.2 Produktionsteknik

Vid intervjuerna har det varit fokus på vilka faktorer som är de avgörande vid produktion av höghus. Det framkom i intervjuerna att dessa (se illustration nedan) var viktiga.



Figur 18 Illustration av vilka faktorer som måste beaktas vid höghusbyggande

3.2.1 Projektledare

Kent Hedin, NCC, anser att det vore irrationellt att platsgjuta ett helt höghus, men vid byggnation av *Turning Torso* hade man inte många alternativ. Dess komplexa stomme erbjöd inte fler metoder.

John Parker, WSP, säger att internationellt sett finns det utarbetade metoder för hur höga hus skall produceras. En av teknikerna som används är den s.k. ”*top-down*” metoden. Vid ”*top-down*” metoden bygger man på två håll samtidigt. Detta erbjuder kortare produktionstid och därmed sparar man pengar.

Gunnar Hagman, Skanska, menar att en fungerande logistik är lösningen till ett lyckat höghusprojekt. Därför måste de ingående aktörerna arbeta i ett gott samförstånd. Om t ex konstruktörerna kunde beakta möjligheten för repetitivt arbete vid utformning av elementen skulle det främja produktionen, som en konsekvens skulle byggtiden minskas. Vilket resulterar i lägre kostnader. ”*Det är viktigt att se till helheten*”.

3.2.2 Konstruktörer

Sven Thelandersson, LTH, anser att framtida höghus primärt kommer att utformas i platsgjuten betong i kombination med prefabricerade element upptill 150m. Priset på material är inte dimensionerande, däremot är arbetbarheten, hållfastheten och flexibiliteten tre mycket viktiga faktorer.

Sten Forsström, SWECO, tror mycket på platsgjuten betong. Som tidigare nämnt blir det stora tryckspänningar i botten och då är armerad platsgjuten betong att föredra.

Karl-Johan Laag, SWECO, säger att det finns för- och nackdelar med de olika byggmetoderna. Det finns inga självklara alternativ. Men för att produktionen skall vara så enkel som möjlig ur hans synvinkel som konstruktör är platsgjuten betong att föredra. Då den platsgjutna betongen får likadana egenskaper överallt.

Ifall Fredrik Carlsson, LTH, hade möjligheten att prova hade en stålstomme med väl utformade detaljlösningar varit lösningen. Stålstommen hade utformats så att det byggs ihop som ett mekano. Det hade medfört att de tunga lyften som man får med betongelement hade eliminerats.

3.2.3 Leverantörer

Christer Isgren, Otb-Concrete, menar att det typiska för höghusprojekt är att krankapaciteten är dimensionerade för vertikaltransporten. En platsgjuten betongkärna minskar beroendet av kranen och diverse lyftanordningar. Klätterform används vanligen för höghus (London), dessa kan användas kontinuerligt i 9 – 12h. När man bygger i ett tätbefolkat område bör man inte använda klätterformarna under natten då det kan störa de boende i det närbelägna området.

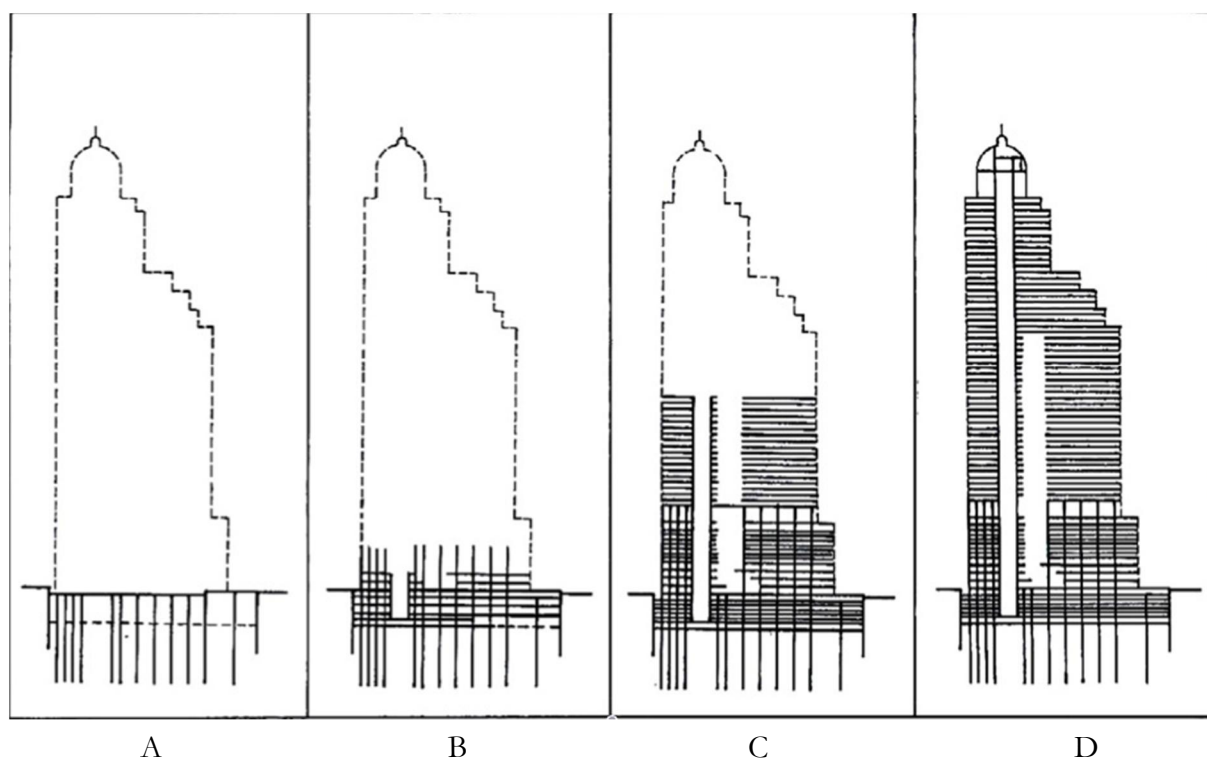
Den vertikala transporten och säkerheten är två viktiga faktorer vid höghusbyggande. Under produktionen måste byggnadsarbetarna erbjudas alternativa flyktvägar ifall en brand skulle bryta ut. Material som är beläget på högre våningsplan måste säkras ordentligt när det inte används, annars kan det åstadkomma stor skada på omkringliggande byggnader eller på lägre våningsplan på den egna konstruktionen. Praktiska bekymmer man kan stöta på vid produktionen kan t ex vara att tornkranen lyfter material utanför byggplatsen och riskerar då skada närliggande byggnader. I den situationen måste man kontakta fastighetsskötaren och få deras tillstånd att lyfta.

3.2.4 Artiklar

Höga hus byggs oftast i stadskärnor, vilket medför att byggarbetsplatsen och tillträdet till arbetsplatsen blir väldigt begränsat. Faktumet att byggnationen är begränsad kan undvikas genom alternativa metoder till produktionen. Problem som man kan stöta på vid traditionellt höghusbyggande i stadskärnor:

- otillräckliga lagerutrymmen/parkeringsplatser
- svaga grundläggningsförhållanden
- risk för skador på närliggande byggnader

Produktion utförd med konventionella metoder tenderar att kräva mycket tid. Följaktligen har det utvecklats alternativa metoder som kräver större koordinering men erbjuder en kortare produktionstid. En av dessa är ”*top-down*”-metoden:



Figur 19, Principskiss av top-down metoden

Vid grundläggning enligt denna princip utförs arbetet i flera steg. Första steget är att skjuta stålplank, spontar (se figur 21), runt om arbetsplatsen så att marken stabiliseras. När spontarna är placerade skjuts vertikala bärverk ner till berggrunden, dessa kan exempelvis vara pelare av stål, se figur 19 A. Dessa bärverk kommer sedan att bära konstruktionen ovan mark, detta möjliggör att byggandet ovan och under mark kan fortgå simultant. De resterande källarplanen gjuts efterhand som schaktningen fortgår.

SI figur 19 kan man se hur konstruktionen växer på höjden samtidigt som källarplanen växer fram. Den största fördelen med denna princip är att den kan spara upp till 20 % av produktionstiden (Swaddiwudhipong & Lee, 2004).

Vid färdigställandet av *Burj Dubai* har den varit en nödvändighet att använda den senaste teknologin för byggande av skyskrapor. Med anledning av detta har författaren valt att presentera produktionsmetoden för projektet.

Burj Dubai är i nuläget färdigställd, produktionsfasen har varit en extraordinär situation för byggarna då flera världsrekord har slagits. Grunden i den lyckade produktionsfasen har varit god planering, förstudie och utförande (Adbelrazaq et al, 2008).

Konstruktionen består av armerad platsgjuten högpresterande betong. Det gjordes flera grundliga tester innan betongen kunde godkännas för användning, då det skulle pumpas upp till ca 600m. Den övre delen av konstruktionen är en stålkonstruktion, för att minska byggnadens vikt. Tidsplanen var lagd till 48 månader, för att det skulle vara möjligt att uppfylla tidsplanen var följande nödvändigt:

- tredagarscykel för stommen per våningsplan
- ett höghastighets transportsystem
- ett sofistikerat logistiksystem som anpassades under projektets olika skeden

- tillhandahållning av en flexibel betongform (möjligt att anpassa till skillnader i utformning)

För att en tredagarscykel skulle vara möjlig behövdes följande:

- klätterform (betongkärna)
- prefabricerad armering
- högpresterande betong
- avancerad pumpteknologi
- betongform som upp – och nedmonterades snabbt

Innan produktionsfasen påbörjades genomförde entreprenören omfattande studier och kvalitetskontroller. Allt för att beställarens krav skulle uppfyllas. Exempelvis utfördes det en rad viktiga tester på betongen eftersom betongen var i en kritisk komponent i byggandet. Kontrollerna utfördes av en objektiv tredje part.

Armeringen prefabricerades på marknivå. Detta hade flera positiva effekter, mängden yrkesarbetare som skulle transporteras i höjddled minskade och kvalitetskontrollen på armeringen kunde utföras mer noggrant. Fler positiva effekter var att armeringen för två våningsplans kunde förtillverkas simultant, vilket sparade både tid och krankapacitet (Adbelrazaq et al, 2008).

Pumpningen var ett av de svåraste momenten i produktionen, då det aldrig hade pumpats till dessa höjder förut. Det utfördes ett horisontellt pumptest där ledningslängden motsvarade höjden betongen skulle pumpas till. Det visade sig att man inte kunde tillgodoräkna sig testet till fullo eftersom man var tvungen att beakta flera faktorer vid en vertikal pumpning exempelvis klimatskillnader. Utifall den vertikala pumpningen skulle fallera fanns det en ersättningspumpelinje redo (Adbelrazaq et al, 2008).

Den vertikala transporten utfördes av tre kranar som monterades på klätterformen vilket medförde att de reste sig med formen. Vidare fanns det tre stycken lyftanordningar som skulle understödja kranarna (Adbelrazaq et al, 2008).

3.2.4.1 Prefabricerad betong i höghus

Det finns stora vinster att göra vid byggande med prefabricerade element. Fördelarna finns i produktionstid, kostnad och miljöskadande utsläpp. Vid en traditionell byggnation med plattsgjutenbetong i en stadskärna, kan följande scenario målas upp:

- stora produktionskostnader (många yrkesarbetare & transporter, mycket material m.m.)
- minskad värdeskapande tid vid transport av yrkesarbetare & material vid rusningstrafik
- transportbehovet skapat av ovan givna händelser innebär en större belastning på ett redan belastat trafiknät
- vid byggnation i stadskärna är fastighetspriserna höga och därmed är arbetsytan förhållandevis liten och konsekvensen blir att lagringsutrymmena är få och transportbehovet stort
- arbetet kring en konventionell byggarbetsplats genererar en del olägenheter för närliggande fastigheter (oljud, smuts, damm, oreda m.m.)(Yee, 2001)

Många av de presenterade bekymmer som är förenade med en byggarbetsplats med konventionell betongteknologi kan hanteras på ett fördelaktigt sätt genom tillämpning av prefabricerad betong. Fördelarna med prefabricerade element är många, nedan presenteras de som påverkar höghus:

- tillverkas i fabrik (kontrollerade former, komplicerade geometrier, högre precision)
- behovet av yrkesarbetare minskar då produktionen förflyttas till fabriker
- transporteras endast en gång
- förspänning i fabrik medför mindre dimensioner
- besparingar i materialanvändning medför miljöbesparingar
- besparingar i former eftersom samma form kan användas flera gånger

De främsta orsakerna till att prefabricerad betong inte fått en stor utbredning är dess beroende av kranar och svårigheterna med att uppnå tillräcklig styvhet i dess knutpunkter. Elementens tyngd gör att de inte lämpar sig för höga lyft, vilket är nödvändigt vid byggnation av en skyskrapa. Dessutom är det svårt att skapa styvhet och samverkan i knutpunkterna mellan elementen (Yee, 2001).

3.3 Fallstudier

I detta kapitel har författaren valt att presentera tre projekt. Projekten är utformade efter skilda byggmetoder och produktionsprinciper. Platsgjuten betong, stål och prefabricerad betong är de tre olika principerna som presenteras. Principerna presenteras för att ge en inblick i vilka fördelar och nackdelar som förekommer.

3.3.1 Turning Torso, Malmö, Sverige

3.3.1.1 Konstruktion

Turning Torsos vridna konstruktion gav inte många möjligheter för dess utformning, se figur 20. Konstruktionen består av en kärna utformad som en cylinder vars tjocklek minskar med höjden. Bjälklagen kragar ut från kärnan och de göts med en liten förskjutning på 1,6 grader gentemot varandra. Förskjutningen mellan bjälklagen skapar den vridna formen på konstruktionen (Hedin, 2009).

Konstruktionen är uppdelad i nio kuber och varje kub består av fem bjälklag. Det monterades stålpelare längs fasaden, detta medförde att bjälklagen inom varje kub deformerades på samma sätt vilket var nödvändigt för montering av fasadelementen. På utsidan av konstruktionen monterades ett stålfackverk för att ge stadga åt konstruktionen vid stor vindpåverkan (Hedin, 2009).



Figur 20, Turning Torso, Malmö 2005

3.3.1.2 Produktionen

Inför att schaktet skulle grävas ur slogs flera hundra sponter ner i en cirkel kring området. Spontarna slogs 15 meter ner i marken och ytterligare 3 meter ner i kalkberget. Spontväggarna behövdes stagas ytterligare på grund av det stora marktrycket, stagningen utfördes med betongbalkar. Hela bottenytan av schaktet injekterades med betong för att täta och stabilisera inför gjutningen av grundkonstruktionen (Hedin, 200).



Figur 21, t.v. Stålplanken skjuts ner i berggrunden
t.h. Gjutning av källarplanen vid Turning Torso

Grundkonstruktionen utgörs av en cirkelformad betongmassa med 30 meter i diameter och 7 meters höjd. Gjutningen av grunden krävde ca 5100 betong vilket motsvarar en halv fotbollsplan med 1 meters gjuthöjd. Det gick åt ca 850 betonglastbilar som kom kontinuerligt under tre dygn för att gjuta grunden.

När resterande del av konstruktionen skulle gutas användes en s.k. klätterform. Formen var självlyftande och gjutningen utfördes i etapper. Klätterformen användes för gjutning av kärnan, väggarna till trapphuset och hisschaktet. Bjälklagen hade egna prefabricerade formar som var uppdelade i bitar som påminner om tårtbitar. Tårtbitarna monterades ihop till ett komplett bjälklag, varpå gjutningen kunde ske. När gjutningen av bjälklaget var klar kunde klätterformen höjas till nästa nivå och proceduren fortsatte på detta vis. Bjälklagen förankrades i kärnan genom en stor mängd armering, armeringen prefabricerades i en närliggande lokal och lyftes sedan på plats (Hedin, 2009).

Det yttre stålskelettet bestod av 18 diagonala och 20 horisontella element vilka vägde mellan 8 och 20 ton (se figur 22). Stålskelettets placering gjorde att man eftersträvade ett så litet underhåll som möjligt, därför skedde en omfattande målning som skydd mot korrosion (Hedin, 2009).



Figur 22 Dubbellyft av stålelement vid byggande av Turning Torso

Den vertikala transporten under byggtiden skedde genom en KONE – Jumlift. Denna byggdes upp temporärt i hisschaktet, efterhand som hisschaktet blev högre kunde hissen höjas. Vid färdigställande av produktionen ersattes den temporära bygghissen med en konventionell hiss. Resterande vertikal transport utgjordes av två stycken tornkranar med 15 tons lyftkapacitet vardera (Hedin, 2009; Forsström, 2009).

3.3.2 Empire state Building, New York, USA

3.3.2.1 Konstruktion

Byggnadens stomsystem är ett fackverksystem helt i stål. Dessutom användes följande material och i angivna mängder för resterande del av konstruktionen:

- 48 000 m³ betong
- 200 000 m² kalkstensfasader
- 6500 st fönster
- 60 000 ton stål, stommen utgörs av en fackverkskonstruktion i stål
- 73 st hissar

3.3.2.2 Produktion

Det mest anmärkningsvärda med produktionen av Empire State Building var att konstruktionen färdigställdes på rekordtid. Mannen bakom projektet var väldigt mån om produktionstiden och att konstruktionen skulle bli högre än Chrysler Building (314 m). Entreprenören var tvungen att vara väldigt innovativ för att klara av projektet på utsatt tid, därför tillämpades följande metoder:

- Produktionen påbörjades innan projekteringen var klar
- Alla byggnadsprocesser överlappade varandra (diverse installatörer påbörjade sitt arbete på insidan innan exteriören var klar)
- 3500 man som jobbade totalt sju miljoner mantimmar på projektet, i skift dygnet runt under hela produktionsfasen
- Grundläggningen påbörjades innan demoleringen av den tidigare byggnaden var klar
- Väl strukturerat logistiksystem, stålelementen var monterade på plats 80 timmar efter att de kommit ut från fabriken i Pittsburgh.
- Det byggdes räls på byggarbetsplatsen för att underlätta transporten av material
- Projektet hade en årsbyggtakt på 85 våningar

Med hjälp av alla nämnda punkter lyckades entreprenören att färdigställa projektet under budget och snabbare än tidsplanen. Projektet var planerat till 18 månader men det tog endast 1 år och 45 dagar att färdigställa. En bidragande orsak till projektet blev så framgångsrikt var att USA genomgick en djup lågkonjunktur, vilket gjorde att priserna kunde pressas ytterligare (Moore, 2009; Toolanen, 2009).



Figur 23, Empire State Building, New York 1931

3.3.3 Ala Moana Hotel, Honolulu, Hawaii

3.3.3.1 Konstruktion

38-våningsbyggnad, uppfördes med förspända prefabricerade betongelement. Följande element var prefabricerade:

- pelare
- bjälklag
- balkonger
- räcken

3.3.3.2 Produktion

År 1970 byggdes denna konstruktion och redan då kunde man bygga varje våningsplan på 3 dagar. En av anledningarna till att projektet kunde fortskrida med den hastigheten var att det hade inrättats kameror på byggarbetsplatsen. Kamerorna möjliggjorde identifiering av flaskhalsar på byggarbetsplatsen och efter en tredjedel av produktionsfasen kunde upplägget på arbetsplatsen effektiviseras. Vilket medförde att byggtiden för ett våningsplan förkortades med en och en halv dag (PCI Journal, 1973).

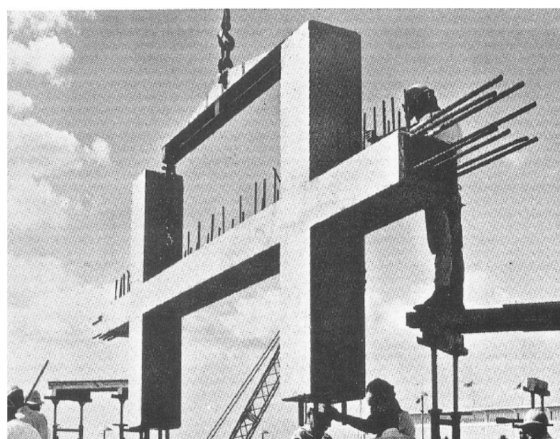
Förmannen, Robert Yee, insåg att knutpunkterna var väldigt kritiska varför han utformade element som sammanknöt mitt på elementstyckena istället för i övergångssegmentet. Övergången från exempelvis bjälklag till pelare tillverkades på fabrik och anslutningen till nästa element gjordes i mitten på pelaren. Dessa element kunde liknas vid ett H, se figur 24 (Concrete Products, 1970).

H-elementen gjorde att tjockleken på övergångarna minskade jämfört med platsgjutning. För att elementen skulle framställas behövdes:

- speciella stålformar
- elementen gjöts stående (för att underlätta för diverse installationer och ursparningar)
- detaljlösningar d.v.s. infästningspunkterna utformades för att klara jordbävningar



Figur 24, Ala Moana Hotel, Honolulu, Hawaii (1970)



Figur 25, Prefabricerade H-element

4 Diskussion

4.1 Vad kommer att ske i framtiden för höghus?

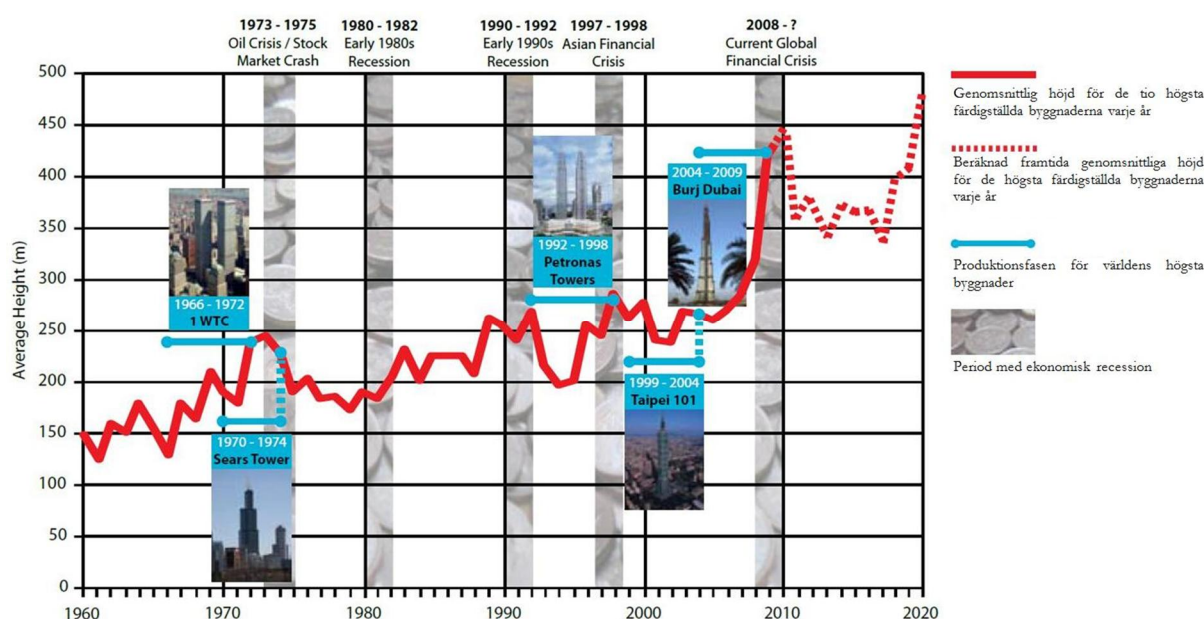
”Höga tomtpriser en nödvändighet för att bygga högt.”

”Svenska staten har gett en antydan till att premiera höghusbyggen.”

”Höga markpriser är en förutsättning, dessa kan förslagsvis vara kring stadskärnan och brofästena i Stockholm.”

”...har med tomtpriserna att göra, just nu är det lönsamt att bygga lågt i Sverige.”

Ur ett globalt perspektiv ser marknaden lovande ut. Det finns fortfarande en marknad för höghusbyggande trots den globala recessionen. Under 1930-talets USA byggdes flera skyskrapor där framgångsreceptet var billig arbetskraft. På detta sätt stimulerades den nationella ekonomin och landet kunde hämta sig ur den djupa recessionen. Traditionellt sett brukar skyskrapor projekteras under högkonjunktur och byggas under efterföljande lågkonjunktur, eftersom det finns en viss fasförskjutning på grund av lång och krävande projektering, vilket illustreras i figur 26 (Oldfield & Wood, 2009).



Figur 26, Illustration över antal färdigställda skyskrapor i förhållande till världsekonomin.

Det är dock inte enbart stimulans av världsekonomin som är roten bakom viljan att bygga högt. Globalt sett kommer befolkningsgraden att öka och dessutom koncentreras kring etablerade samhällen. Detta gäller främst i utvecklingsländer som har städer med en population som överstiger 15 miljoner. För att sådana städer överhuvudtaget ska kunna överleva måste hållbarhetsfrågorna beaktas idag. Att bygga hus med stor boarea på en förhållandevis liten markyta är därför väldigt aktuellt. Detta kan tillämpas för redan etablerade samhällen som tidigare har växt på bredden och stadsstorleken börjat bli olidligt stor (Ali & Armstrong, 2008).

De nämnda argumenten är goda grunder till att bygga högt. Konsekvensen av att bygga högt blir att många människor kan bosätta sig på en mindre yta, vilket minskar utbredningen av en stad som London och skapar mer yta för grönområden. Dessutom finns många synergieffekter när man bygger kompakt, behovet av biltrafik minskar samt att kollektivtrafiken blir smidigare. De presenterade effekterna är fördelaktiga både ur ett ekonomiskt och klimatbevarande perspektiv.

4.2 Framtidens materialval

Precis som murverk fasades ut som byggnadsmaterial i början på 1900-talet till fördel för stålet, har det nu skett en materialväxling från stål till betong. Generationsväxlingarna representerar ofta en ny era i byggandet eftersom de oftast är en konsekvens av nya metoder och ny teknik. Det som utmärker den senaste generationen är framförallt denna tidens utveckling av datorkraft och framställningen av högpresterande betong som kan pumpas till höga höjder. Detta ger arkitekter och ingenjörer helt nya förutsättningar för att utforma den nya tidens byggnader.

Byggnadsmaterialen utvecklas kontinuerligt, det håller i nuläget på att göras undersökningar kring ett nytt material, kolfiber, som skall ersätta armeringsjärnen. Kolfiber sägs vara mer hållfast än armeringsjärn och dessutom lättare. En sådan utveckling ger nästan obegränsade möjligheter för framtidens stomsystem, anledningen till att kolfiber inte har fått ett större genomslag är att väldigt dyrt och komplicerat att framställa (Ali & Armstrong, 2008).

Burj Dubai, Förenta Arab Emiraterna; Trump Tower, Chicago; Shanghai Financial Center, Shanghai; The Shard of Glass, London; Turning Torso, Malmö och Petronas Twin Towers, Kuala Lumpur är alla exempel på skyskrapor/super-höga hus som har färdigställts det senaste decenniet. Sett till det senaste decenniets utveckling råder det ingen tvekan om att betong är det material som dominerar.

4.3 Produktionsteknik för att åstadkomma dessa

Ett faktum som är väldigt anmärkningsvärt är att det på 1930-talet kunde byggas en skyskrapa (381m) på 13 månader vilket med dagens teknik kräver ca det tredubbla. Vid byggnation av Empire State Building, NY, var byggherren väldigt noggrann med planeringen och logistiken vilket gjorde att byggnadens uppfördes på rekordtid. Trots att produktionsmetoderna var sämre, kunde byggnationen slutföras på rekordtid. Detta exempel kan vara en fingervisning för dagens entreprenör att det finns stora möjligheter att effektivisera produktionsfasen.

Det går dock inte att jämföra byggtiderna rakt av eftersom materialet som användes då och idag inte har samma egenskaper och har därför inte heller samma hålltider. Budskapet som skall förmedlas är att produktionsfasen är den absolut dyraste fasen och det finns stora möjligheter att göra besparingar. Sett ur ett större perspektiv kan detta påverka fastighetsekonomin, då byggnaden färdigställs i ett tidigare skede kan hyresgästerna flytta in tidigare. På detta sätt kan investerarna få sitt kapital tillbaka snabbare och höghusen blir mer tillgängliga på marknaden.

Vilka produktionstekniker som skall användas är inte självklara, de beror i allra högsta grad på förhållandena för varje projekt. I projekten som har presenterats påträffades ”*Top-Down*”-metoden. Den verkar vara en metod som tar sitt kliv in i höghusbranschen då den tidigare har använts vid anläggningsprojekt.



Figur 27, Vilket material skall man välja vid byggande av höghus i framtiden?

4.3.1 Frågan består, vilket material skall man välja vid byggnation av höghus?

Efter analys av framkommet material i intervjuer och populärvetenskapliga artiklar på ämnet är indikationerna tydliga. Framtidens stomsystem kommer till stor grad att utformas med betong som kärnmaterial, stål kan eventuellt användas som komplement. Betraktar man material-egenskaperna hos stål och betong kan det fastställas att materialen är konkurrenskraftiga gentemot varandra. Här listas några egenskaper:

Stål

Fördelar

- + prefabriceras helt, monterklar vid ankomst
- + hög draghållfasthet vid litet tvärsnitt
- + snabbt att montera upp

Nackdelar

- undermåliga brandegenskaper
- utmattning

Betong

Fördelar

- + formbarhet
- + tryckhållfasthet
- + goda akustikegenskaper
- + tyngden ger god stabilitet
- + mycket goda brandegenskaper

Nackdelar

- låg draghållfasthet
- kräver mycket transporter

Synar man egenskaperna är det inte stor skillnad mellan materialen. En av de främsta orsakerna till att betong föredras för höghusbyggande är tyngden den ger en konstruktion. Med rätt tyngd i konstruktionen motverkas lyftverkan och man erhåller större motståndskraft mot horisontella laster. Dessutom har betong väldigt goda brandegenskaper vilket är stålets största svaghet. Den senaste tidens forskning har dessutom förbättrat betongens egenskaper såsom möjligheten att pumpa, hållfastheten etc. Därför ser branschen fler möjligheter med betong än med stål, betongen tros kunna utvecklas ännu mer och därmed erbjuda ännu bättre egenskaper (Ali & Moon, 2007).

I Sverige finns det en väletablerad betongindustri därmed är kunskapsområdet väldigt stort kring betong. Det förefaller sig naturligt för byggbranschen att utnyttja sin kompetens (Thelandersson, 2009).

4.3.2 Platsgjuten eller prefabricerad betong?

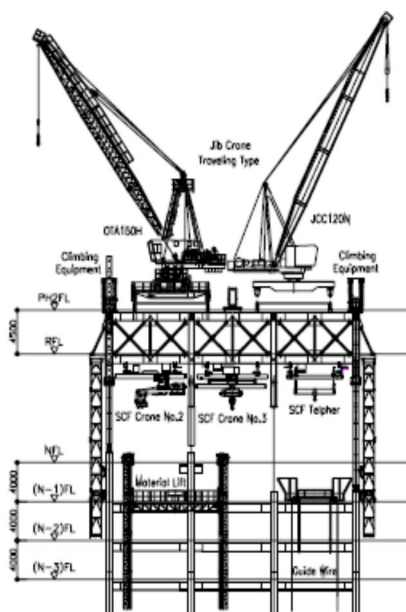
En jämförelse produktionstyperna emellan har gjorts under avsnitt 3.2.4.1. Det som kan fastställas därifrån är att prefabricerad betong är en god konkurrent mot platsgjuten betong. Det finns fler fördelar med prefabricerad betong gentemot platsgjuten. De främsta orsakerna till att platsgjuten betong är så utbredd är traditionen i svenska byggindustrin. Med hänsyn till detta inser man att det finns utarbetade metoder, kompetenta yrkesarbetare m.m.

Produktion med prefabricerad betong är ingen ny byggmetod, den har tillämpats ända sedan tidigt 1970-tal. Det som talar mot prefabricerade element vid byggande av höga hus är svårigheterna att skapa kontinuitet och styvhet i knutpunkter. Ur en konstruktörs synvinkel är platsgjuten betong enklare att använda då man erhåller en konstruktion som är isotrop d.v.s. en konstruktion med likadana egenskaper i alla riktningar. (Laag, 2009).

4.3.3 Finns det några intressanta alternativ till konventionella byggmetoder?

Utvecklingen av produktionsmetoder har föreslagit många alternativ till dagens metoder. ”Automated Building Construction System for High-rise Steel structure buildings” sticker ut ur mängden, detta byggnadssätt riktar sig mot höghus i stål. Metoden som föreslås går ut på att en temporär fabrik byggs upp på byggarbetsplatsen. Fabriken skall sedan bygga konstruktionen uppifrån och ner d.v.s. byggandet börjar med det översta våningsplanet. Efterhand som våningsplanen färdigställs hissas de upp och nästa våningsplan kan byggas upp under (en illustration av fabriken ses i figur 28). Denna procedur fortskrider sedan till konstruktionen är färdigställd (Ikeda & Tsunenri, 2004).

ABCS-systemet togs fram för att minska behovet av vertikaltransport, väder, jobb som utförs på hög höjd, och kompetenta yrkesarbetare.



Figur 28, Principskiss av ABCS

Fördelarna är många, fabriken erbjuder en säker arbetsmiljö, byggnaden uppförs i ett inomhusklimat, ökad produktivitet m.m.

Denna produktionsmetod har använts fyra gånger med framgång sedan den togs fram 1989 (Ikeda & Tsunenri, 2004).

ABCS-systemet är ett mycket intressant alternativ till framtida konstruktioner. Om metoden infriar de påstådda fördelarna är motargumenten få. Det som skulle kunna hindra att ABCS får en stor utbredning i byggbranschen är att marknaden är fokuserad mot betong användning. Om metoden vore tillämpbar för betongkonstruktioner finns det i teorin en stor möjlighet för ABCS att slå igenom.

5 Slutsats

Efter granskning av en mängd artiklar och analys av utförda intervjuer kan det enbart sägas att betong dominerar höghusbyggandet i branschen just nu. Åtskilliga stomsystem har utformats och materialets egenskaper har förbättrats.

Byggandet av höghusprojekt görs ofta för att statuera ett exempel. Höghusen bidrar med ett nytt signum för sin region populärt kallat ”*Name Branding*”, se på Turning Torso för Malmö Regionen, Empire State för New York eller Sears/Willis Tower för Chicago. Alla påverkade sin region och satte städerna på världskartan. Därför vill man bygga husen på ett utmärkande sätt mer än att bygga hus som uppfyller en funktion likt ”*miljonprogrammet*”. Därför behöver ingenjörer tillämpa ett material som är flexibelt och formbart som betong.

Betong som byggnadsmaterial har gjort en otrolig resa från det att det introducerades tills idag. Materialets egenskaper har förfinats och förbättrats likaså har stomsystemen förbättrats och utvecklats. Vilket har föranlett att stål har blivit utkonkurrerat från höghusmarknaden och betong har blivit det självklara materialet. Stomvalet görs utefter de efterfrågade estetiska kraven på varje projekt och det är därför svårt att fastställa vilket stomval som är det mest lämpliga generellt sett.

Val av produktionsmetod är också baserad på enskilda projekts förutsättningar, där ett projekt beläget i en stadskärna har helt olika betingelser jämfört med en skyskrapa i utkanten av staden. Men en gemensam faktor för alla höghusprojekt är koordinering av den vertikala transporten. Eftersom höghusprojekt är väldigt begränsade och beroende av sin vertikala transport blir vikten av att logistiken fungerar ännu större.

En trend som är överrepresenterad i produktionen av skyskrapor i en stadskärna är den s.k. ”*Top-Down*”- metoden. Som tidigare nämnt i rapporten kan denna metod minska produktionstiden och därmed minska kostnaden för projektet.

En av de största nackdelarna med skyskrapor eller höghus är att kostnaden per ytenhet är avsevärt högre än låga hus. För att konstruktionerna skall vara ekonomiskt försvarbara måste de byggas där det råder höga markpriser d.v.s. i stadskärnor av miljonstäder. Eftersom lokalerna då kan hyras med högre hyror och på så sätt generera en vinst för investerarna.

5.1 Vad innebär detta för Sverige?

Sammanfattningsvis kan följande sägas, det finns ett stort intresse för att bygga högt i Sverige. De som har blivit intervjuade har alla sagt sig vara intresserade av att bygga högt men är tveksamma till att det finns en marknad för det. Endast fastighetspriserna i Stockholms innerstad är tillräckliga för att konstruktionerna skulle kunna vara ekonomiskt försvarbara. Det som möjliggjort Turning Torsos framgång är dess unika utformning då den anses vara en ”beboelig skulptur” snarare än en konventionell byggnad.

Det har dock kommit indikationer från statlig nivå på att premiera byggande av höghus, i kombination med en effektiv produktionsfas kan totalkostnaden för ett höghus byggnationen minskas. Skulle detta ske finns en smal chans att det blir ekonomiskt försvarbart att bygga högt och därmed skulle möjligheten för höghus byggande öka i Sverige.

6 Referenser

6.1 Litteratur

Council on tall buildings and urban habitat, CTBUH.1980 “*Monograph on planning and design of tall buildings; Vol. SC, Tall building systems and concepts*”. American Society of Civil Engineers. ISBN 0-87262-239-8, s35,

Eisele, J & Kloft E. 2003 “*High-Rise Manual*”. Birkenhäuser –Publisher for architecture. ISBN 3-7643-0274-7 s85

Höweler, Eric. 2003 “Skyscraper – Design of the recent past & for the near future”. Universe Publishing.

Schueller, Wolfgang. 1977 “*High-Rise Building Structures*”. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-01530-X, s72, s 86-89

6.2 Populärvetenskapliga artiklar

Abdelrazaq, A, Jun Kim, K & Ho Kim, J. 2008 ”*Brief on the Construction planning of the Burj Dubai Project*” CTBUH Conference, Dubai 2008, s1-10

Ali, Mir A. 2001”*Evolution of Concrete Skyscrapers: from Ingalls to Jin mao*” Journal of Structural Engineering, Vol 1, No 1 (2001), s 2-14

Ali, M & Armstrong P. 2008 “Skyscrapers defining cities: New Trends in Supertall Buildings and Urban Design” AIA Convention, Boston, MA, May 2008

Ali, Mir A& Moon, Kyoung S. 2007 ”*Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects*” Architectural Science Review, Volume 50.3, s 205-223

Andersson, Roger. 2009 ”*Londons osannolika byggen*” Betong, nr 6 /(09), s16 – 21

Baker, W, Stanton, K & Novak, L. 2008 “*Engineering the World’s Tallest – Burj Dubai*” CTBUH Conference, Dubai 2008, s1-10

Forsström, Sten. 2008 ”Turning Torso - Höjdargjutning” Betong, nr 4/(08), s63-65

Ikeda, Y & Tsunenori H. 2004 “*The Automated Building Construction System for High-rise Steel Structure Buildings*” CTBUH- Conference, Seoul, Korea, October 10-13, s707-713

Krog, Tommi B. 2008”*Husen växer upp genom molnen*”Illustrerad Vetenskap, nr 17/2008, s28-35

Oldfield, P & Wood, A. 2009 “*Tall Buildings in the Global recession: 2008, 2020 and beyond*” CTBUH-Journal, 2009 Issue 1, s20 - 26

Swaddiwudhipong, S & Lee, S L. 2004 ”*Up-down construction of reinforced concrete tall building.*” Proceedings, CTBUH 2004 Seoul Conference: Tall Buildings in Historical Cities-Culture & Technology for Sustainable Cities, (2004): 824-831. Seoul, Korea. (Invited Speaker).

Toolanen, Bengt. 2009 ”Byggandets produktionsutveckling i skenet av Empire State Building” Samhällsbyggaren, nr 4, s62-65

6.3 Internet

Burj Dubai – Interview with the Chief Engineer

<http://www.burjdubai.com/>, Facts and figures/Articles & Interviews

Besökt 090923

Burj Dubai Artiklar – “Burj Dubai continues long climb into record books”

<http://www.burjdubaiscraper.com/articles/burjinfo.html>

Besökt 090923

Council on Tall Buildings and Urban Habitat, CTBUH

<http://www.ctbuh.org/HighRiseInfo/TallestDatabase/Criteria/tabid/446/language/en-US/Default.aspx>

Besökt 091012

Emporis Standards

<http://standards.emporis.com>

Besökt 090824

Encyclopædia Britannica- ett engelskspråkigt encyklopedi

Sökord: Building construction

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/83859/building-construction/60143/High-rise-construction-since-1945>

Besökt 090825

Liebherr - krantillverkare

http://www.liebherr.com/cc/en/products_cc.asp?menuID=106087!832-0

Besökt 090923

Moore, Bob. 2009 ”Empire State Building – A Case Study in Successful Commercial Construction Management”

<http://www.constructioncompany.com/historic-construction-projects/empire-state-building/>

Besökt 091221

Putzmeister – Concrete Pumps 20.04.2008 “606 m world record pumping height at BurjDubai - Concrete pump operation is completed”

http://www.putzmeister.it/cps/rde/xchg/SID-3C6E00FC-DAB7B97A/pmi/hs.xsl/5751_ITA_HTML.htm

Besökt 090923

Trade Arabia Business News Information. 2008 “Nakheel to build 1km-high new tower”

http://www.tradearabia.com/news/REAL_150270.html,

Besökt 090831

6.4 Intervjuer

Forsström, Sten.

M.Sc, Sweco Infrastructure

2009-11-06

Hagman, Gunnar.

M.Sc, Regionchef, Skanska

2009-12-02

Hedin, Kent.

M.Sc, NCC

2009-11-27

Isgren, Christer.

M.Sc, Betongexpert, OtB – Concrete

2009-12-22

Karlsson, Fredrik.

M.Sc, Univ. Lektor, Lunds Tekniska Högskola

2009-09-22

Laag, Karl-Johan.

M.Sc, inriktning Höga hus, Sweco Structures

2009-11-06

Parker, John.

M.Sc, Structural Coordinator, WSP

2009-11-11

Thelandersson, Sven,

Professor Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola

2009-10-12

6.5 Figurer

Figur 1, Beskrivning av de olika höjdkategorierna

www.ctbuh.org

Hämtad 091215

Figur 2, The Equitable Life Assurance Building

<http://www.endex.com/gf/buildings/liberty/libertyfacts/king/Equitable.x.jpg>

Hämtad 090826

Home Insurance Building

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/Home_Insurance_Building.JPG

Hämtad 101213

Figur 3, The Empire state Building

<http://www.ultrapdx.com/zero/wp-content/uploads/2008/10/empire.jpg>

Hämtad 090831

Figur 4, tv Hallidie Building

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/Hallidie_Building.jpg

Hämtad 090831

Figur 4, th Willis Tower (föredetta Sears Tower)

<http://jeffreimer.files.wordpress.com/2009/04/searstower.jpg>

Hämtad 090831

Figur 5, Nakheel Tower

<http://cheeju.files.wordpress.com/2008/11/tower4.jpg>

Hämtad 090831

Figur 6, Stomsystem i stål rangordnade efter höjd rekommendation

Ali, Mir A& Moon, Kyoung S. 2007 ”*Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects*” Architectural Science Review, Volume 50.3, s 208

Figur 7, Stomsystem i betong rangordnade efter rekommenderad höjd

Ali, Mir A& Moon, Kyoung S. 2007 ”*Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects*” Architectural Science Review, Volume 50.3, s 208

Figur 8, Invändiga bärsystem rangordnade efter rekommenderad höjd

Ali, Mir A& Moon, Kyoung S. 2007 ”*Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects*” Architectural Science Review, Volume 50.3, s 211

Figur 9, Kärna med utkragande element på fasadpelare, där pelarna är både tryckta och dragna

Ali, Mir A& Moon, Kyoung S. 2007 ”*Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects*” Architectural Science Review, Volume 50.3, s 212

Figur 10, Konstruktioner med utvändigt stomsystem rangordnade efter rekommenderad höjd

Ali, Mir A& Moon, Kyoung S. 2007 ”*Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects*” Architectural Science Review, Volume 50.3, s 211

Figur 11, John Hancock Building, 1970 Chicago

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5d/Hancock_tower_2006.jpg

Hämtad 100420

Figur 12, tv Enkel tub-stom, m Tub-i-tub, th sammanfogade tuber

Schueller, Wolfgang. 1977 “*Highb-Rise Building Structures*”, John Wiley & Sons, Inc.

ISBN 0-471-01530-X, s 72, s 86-89

Figur 13, tv 30 St Mary Axe

<http://www.rankopedia.com/CandidatePix/11485.gif>

Hämtad 090918

Figur 13, th The COR – Building

<http://www.archicentral.com/wp-content/images/360.jpg>

Hämtad 091007

Figur 14, Klätterformen som användes vid Turning Torso

Kent Hedin, Presentation Turning Torso

Figur 15, tv Bygghiss som användes vid Turning Torso

t.v. http://www.designbuild-network.com/contractor_images/alimak/4-modular-450-range.jpg

Hämtad 091218

Figur 15, th Tornkran som användes vid Turning Torso

Kent Hedin, Presentation Turning Torso

Figur 16, Burj dubai principskiss sett ovanifrån

Baker, W, Stanton, K & Novak, L. 2008 “*Engineering the World’s Tallest – Burj Dubai?*” CTBUH Conference, Dubai 2008, 7

Figur 17,

Chicago Spire, Chicago USA (t.v.)

<http://thechicagoartblog.files.wordpress.com/2008/06/chicagospire-004.jpg>

The Sail, Marina Bay Singapore (m)

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/TheSail%40MarinaBay-Singapore-20071128.jpg>

The Phare Tower, Paris Frankrike (t.h.)

http://www.dallasnews.com/sharedcontent/dws/img/01-08/GLmayne_phare.jpg

Hämtade 091214

Figur 18, Illustration av vilka faktorer som måste beaktas vid höghusbyggande

NaibWoldemariam, egenfigur.

Figur 19, Princip skiss av Top Down metoden,

Baker, W, Stanton, K & Novak, L. 2008 “*Engineering the World’s Tallest – Burj Dubai?*” CTBUH Conference, Dubai 2008, 7

Figur 20, Turning Torso

http://www.woonq.com/uploaded_images/TurningTorso11.jpg

Hämtad 091219

Figur 21, tv Stålpunkten skjuts ner i berggrunden, th gjutning av källarplanen vid Turning Torso
Kent Hedin, Presentation av Turning Torso

Figur 22, Dubbellyft av stålelement vid byggande av Turning Torso
Kent Hedin, Presentation av Turning Torso

Figur 23, Empire State Building

<http://www.ourenglish.org/World/USA/usempire-state-building.jpg>

Hämtad 091218

Figur 24, Ala Moana Hotel

http://www.ascehawaii.org/ywf/images/ala_moana_hotel.jpg

Hämtad 091221

Figur 25, Prefabricerade H-element

Prestressed Concrete Institute Journal (PCI), May-June 1973, volume 18, no. 3, s

Figur 26, Illustration över antal färdigställda skyskrapor i förhållande till världsekonomin
Oldfield, P & Wood, A. 2009 “*Tall Buildings in the Global recession: 2008, 2020 and beyond*”
CTBUH-Journal, 2009 Issue 1, s22

Figur 27, Vilket material skall man välja vid byggande av höghus i framtiden?
Naib Woldemariam, Egen figur.

Figur 29, Principskiss av ABCS

Ikeda, Y & Tsunenori H. 2004 “*The Automated Building Construction System for High-rise Steel Structure Buildings*” CTBUH- Conference, Seoul, Korea, October 10-13, s708

7 Appendix

7.1 Frågeformulär för intervjuer

7.1.1 Projektledare

Hur definierar du ett högt hus?

Hur skulle ni gå tillväga för att bygga?

Har Skanska riktlinjer för hur ett höghus skulle utformas?

Hur skulle produktionen kunna utföras?

Hur skulle logistiken hanteras vid byggande i stadskärna?

Vad tror du om stål som stommaterial, med leverantörer och kostnader i åtanke?

Vad tror du om höga hus i Sverige?

I vissa städer som t ex London bygger man högt för att komprimera staden och skapa fler gröna ytor. Skulle det vara en möjlighet för t ex Sthlm?

7.1.2 Konstruktörer

Vilka är de specifika egenskaperna som får en konstruktion att betraktas som ett högt hus?

Vilka är dina erfarenheter av höghus-projekt? (Subjektiva och objektiva åsikter)

Hur går produktionen till? (krantyp etc)

Pumpning av betong? Formtyp? Varför?

Logistiken? (Människo – och Materialflöde)

Vilka stommar används idag?

Vilka stommar kommer att användas i framtiden,

I Sverige, Internationellt?

Vad fungerar bäst för höga hus?

Bara stomme i åtanke

Hela stomsystemet, med produktionen i åtanke?

Hur skulle du utforma ett höghus i Sverige idag? (ca 100 – 150 m, kontor)

Hur påverkas konstruktionens utformning av den slutgiltiga byggnadens användningsområde?
(Boende, Affärsverksamheter, Kontor, Parkering)

7.1.3 Leverantörer

Vilka är era erfarenheter av höga hus byggande?

Skulle projekten byggts på samma sätt idag? Varför?

Skulle det vara möjligt att bygga en hel konstruktion endast i det material ni erbjuder?

Hur skulle ni utforma ett hög hus? (behöver inte beakta ekonomin)

Vilken är er syn på prefabricerade betong element i höghus konstruktioner?

Begränsningar, Förutsättningar, fördelar/nackdelar

Vad håller framtiden för höghus?