

Parkeringshus i tre

Parking house in wood

Et utviklingsprosjekt i samarbeid mellom offentlige byggherrer, industri og forskningsinstitutter

A development project in cooperation between public contractors, industry and research institutes

Saksbehandler: Bernt Jakobsen, Aadnesen a.s

Dato: 1. juni 2002

Oppdragsgiver: Aadnesen as, Statsbygg, Moelven Industrier ASA, Moelven Limtre AS, Indigo Invest, Narud-Stokke-Wiig Arkitekter AS, Norges byggforskningsinstitutt og Norsk Treteknisk Institutt

Prosjektnr.: 370040

1. Konklusjon

Det er utviklet et konsept for parkeringshus i tre på en typisk ledig tomt som kan finnes i et byområde. Prinsippløsningene er i stor grad basert på moduler og kan derved tilpasses forskjellige størrelser og former på en aktuell byggetomt. Den modulariserte trekonstruksjonen har dessuten den store fordelen at den lett kan demonteres, slik at hele eller deler av bygget kan gjenbrukes på andre tomter eller til andre formål. Prosjektet viser at et parkeringshus i tre basert på de valgte prinsippløsningene, vil kunne være kostnadmessig konkurransedyktig selv uten hensyntagen til gjenbruksfordelen, samtidig som det vil kunne gi et "varmt" og tiltalende preg som beriker nærmiljøet. Parkeringshus i tre vil også gi store fordeler med tanke på miljøbelastning.

Prosjektet er støttet av BAE-programmet i NFR og Treprogrammet i SND.

Stikkord: Parkeringshus, massivtre, livssyklus

Keywords: Parking house, solid wood, life cycles

2. Summary

The goal of the project has been to develop an economic and environmentally friendly parking house, which is modularized and flexible, and is based on renewable and low polluting resources.

A concept is developed for parking houses on a site that is representative for a typically available building site that may be found in a city area. The limited size of the site at ca. 32 x 32 m brought a large challenge in finding an efficient layout for the parking house, as ramps and lanes necessarily takes up a relatively large portion of the space. At sites with greater length the utilization will gradually improve with each car width that may be added.

The principal solutions that are developed are largely based on modules, and are thus flexible and may be adjusted to other sizes and forms of a current building site. Besides, a modularized wood construction has a considerable advantage as it easily can be disassembled, so that the whole or parts of the building can be reused. A parking house in wood will be able to provide a “warm” and attractive character, which seems enriching to the local environment.

It has been central to the project to demonstrate reliability and functionality of the product, in addition to demonstrating that it can compete economically, energy wise and environmentally compared to other alternatives.

The project participants cover the most important parts of the vertical chain, which will be involved in the realization of such a project, namely: architect, building technical consultant, product supplier, developer, owner and management company, as well as the country’s most prominent R&D-institutes on the topic.

Innholdsfortegnelse

1. Konklusjon.....	3
2. Summary.....	4
3. Sammendrag	6
4. Innledning.....	11
5. Arkitektonisk form og uttrykk.....	15
6. Tekniske utfordringer	18
7. Bæresystem	22
8. Bestandighet.....	25
9. Brann.....	30
10. Produksjon og montasje.....	34
11. Kostnader og byggetid	37
12. Gjenbruk.....	40
13. Livssyklus kostnader	41
14. Miljøvurdering.....	49
15. Referanser.....	56
16. Prosjektforutsetninger - Kravspesifikasjon.....	57
17. Tegninger	60

3. Sammendrag

3.1. Konklusjoner

Det foreliggende arbeidet har vist at:

- Det er mulig å bygge et modularisert parkeringshus i tre som er funksjonsdyktig og bestandig, og som samtidig er demonterbart og egnet for gjenbruk.
- Et parkeringshus i opp til 6 etasjer utført med bærende trekonstruksjoner vil gi vesentlig høyere sikkerhet ved brann enn det som aksepteres i henhold til veiledningen til Teknisk forskrift 1997.
- For det undersøkte bygg med 205 parkeringsplasser er investeringskostnaden eks. mva beregnet til kr 85.000,- pr. parkeringsplass. Denne kostnaden reduseres til kr 71.000,- hvis taket også utnyttes til parkering.
- Restverdien ved demontering og gjenbruk i tilsvarende parkeringshus etter ca. 20 år er vurdert til netto ca. kr 20.000 - 24.000 pr. parkeringsplass.
- Byggetiden for parkeringshuset er vurdert til ca. 7 måneder.
- Tre som hovedmateriale synes å være kostnadmessig likeverdig med, eller bedre enn bruk av stål/betong når alle livssyklus-kostnader tas med. Ved dårlige grunnforhold forventes det at trealternativet kommer enda bedre ut på grunn av den betydelige lavere vekten av bygget.
- Å bygge parkeringshus i tre synes å gi store fordeler med tanke på belastning på miljøet. Fordelene ligger primært i mindre utslipp av klimagasser, samt binding av karbon i treverket.

3.2. Bakgrunn

Det foreliggende prosjektet har hatt som målsetning å utvikle et økonomisk og miljøvennlig parkeringshus som er modularisert og fleksibelt, og som er basert på fornybare og lite forurensende ressurser.

Det er utviklet et konsept for parkeringshus på en tomt som er representativ for en typisk ledig tomt som kan finnes i et byområde. Den begrensede tomtestørrelsen på ca. 32 x 32 m medførte en stor utfordring i å finne en effektiv planløsning for parkeringshuset, da ramper og kjørebaneer nødvendigvis legger beslag på en relativt stor del av arealet. Ved tomter med større lengde vil utnyttelsen bli gradvis bedre for hver bilbredde som kan legges til.

Prinsipløsningene som er utviklet er i stor grad basert på moduler, og er derved fleksible og kan tilpasses andre størrelser og former av en aktuell byggetomt. Dessuten har en modularisert trekonstruksjon en betydelig fordel i at den lett kan demonteres slik at hele eller deler av bygget kan gjenbrukes. Et parkeringshus i tre vil kunne gi et "varmt" og tiltalende preg som virker berikende på nærmiljøet.

Det har vært sentralt for prosjektet å demonstrere pålitelighet og funksjonsdyktighet av produktet, i tillegg til å demonstrere at det er økonomisk, energi- og miljømessig konkurransedyktig i forhold til andre alternativer.

Prosjektdeltakerne dekker de viktigste deler av den vertikale kjeden som vil være involvert i realiseringen av et slikt prosjekt, nemlig: arkitekt, byggeteknisk rådgiver, produktleverandør, utbygger, eier og driftsselskap, samt landets fremste FoU-institutter på området.

3.3. Beskrivelse

Ut i fra tilgjengelig plass på tomten og adkomst fra sidegatene, ble parkeringshuset utformet med en halvplanløsning. Det er felles ramper i bygget for kjøring opp og ned til etasjene, med adkomst og utkjøring på samme sted. Parkeringen er fordelt over 12 ulike halvplan. Antall etasjer, og dermed høydeutnyttelsen, kan tilpasses lokale forhold og begrensninger, ettersom byggets konstruktive elementer er modulbasert med høyde på 2 900 mm.

Parkeringsplassene har mål 2,5 x 5,0 m, med kjørebredder på 6,5 m, og det er plass til 205 biler fordelt over etasjene.

Som en ytre ramme, og i byggets kledning, er det benyttet vertikale panelbord c/c 250 mm med frilagt kant. Denne kledningen er montert på lette stålrammer for enkel montasje og demontasje. Treet i de vertikale lamellene danner byggets ytre hud mot omgivelsene, med karakteristisk og identitetsskapende uttrykk. Dette er uvanlig for P-hus som oftest ikke har noen fasade, og den valgte løsning vil i dette tilfellet kunne lette en innplassering i en bysituasjon, med krav til fasadeutforming og materialvalg i harmoni med omgivelsene. Fasaden er åpen, i den forstand at bygget rett utenfra oppleves slik, fordi man ser imellom lamellene. Ved vandring langs fasaden fremstår den som lukket, og endrer karakter og uttrykk underveis.

I og med parkeringshusets lokalisering inne i en eksisterende bebyggelse, var det naturlig å legge tak på bygget. Dette bidrar også til mindre vanninntrengning, søl og problemer med brøyting og snøfall.

Prosjektet har vært opptatt av at tre skal benyttes der hvor tre er fordelaktig framfor andre materialer. Materialer som stål og betong er benyttet i konstruksjonsdeler der det er hensiktsmessig.

Bæresystemet er en kombinasjon av massivtreelementer og ribbedekker av limtre i dekkene. Disse elementene er opplagt på fasadebjelker i limtre og på stålbjelker innvendig. I fasadene er søylene i limtre, mens det innvendig er noen få stålsøyler. Avstivningssystemet er konsentrert i innvendige kjernevegger og består av fagverk i limtre.

Alle elementene er utformet og inndelt slik at de gir en gunstig kombinasjon av prefabrikkering i fabrikk, gunstig størrelse for transport og for montasje på byggeplassen.

Alle forbindelser er utformet slik at de er hensiktsmessige både for montasje og for demontasje med tanke på mulig gjenbruk på et annet sted. I hovedbæresystemet er det for alle viktige knutepunkter valgt å benytte innslissede stålplater og stavdybler. Dette forbindelsesmidlet er benyttet i alle de store trekonstruksjonene som er levert de siste 10 - 12 årene, så som OL-hallene, terminalbygget på Oslo Hovedflyplass, fotballhaller og store trebroer.

3.4. Bestandighet

Det har vært fokusert mye på å finne gode løsninger med tanke på å sikre bestandighet av trekonstruksjonene. Tredekkene er beskyttet mot fuktighet med papp på taket og et slitelag av asfalt på parkeringsdekkene. Avrenning på parkeringsdekkene skjer ved fall 1:100 mot midten av bygget, hvor vann føres ned i punktsluk i parkeringsområdet, og ved renner nedfelt i dekket ved nedre ende av rampene. Asfaltlaget vil sikre mot gjennomrenning og eventuell misfarging av biler. Det vil dessuten sikre et sklisikkert gulv. Den valgte løsningen har vært benyttet i flere parkeringshus, blant annet på Oslo Lufthavn Fornebu og parkeringshuset for ansatte på Gardermoen. Løsningen er godt dokumentert, vanntett og meget slitesterk, og den forventes å vare i hele byggets levetid.

Det er ikke tenkt at treet i dekkene behøver ytterligere beskyttelse. Ved eventuell demontering og gjenbruk kan asfalten freses av i et spor over hver skjot i dekket. Etter ny montasje bygges slitelaget i skjøten opp på nøyaktig samme måte som slitelaget for øvrig. Asfalten vil være oppvarmet til over 120 °C ved påføring, slik at den vil smelte sammen med slitelaget som allerede ligger på tredekket, og medføre at skjøten igjen vil være tett, elastisk og slitesterk.

Trekonstruksjoner i fasadene, som søyler og bjelker, gis en kjemisk trebeskyttelse. Eksponert front av ribbene i dekkene beskyttes med metallbeslag. Massivtre- og ribbedekkenes forutsettes å være ubehandlet. Fasadespilene og finerplatene/panelene på kjerneveggene er behandlet med brannhemmende impregnering.

Tre er et hygroskopisk materiale, som betyr at trefuktigheten over tid vil innstille seg på en likevektsfuktighet i henhold til klima omkring. Med bakgrunn i svingningene i likevektsfuktigheten vil dette føre til krymping og svelling i trevirket. I enkelte tilfeller kan man også få kuvingsdeformasjon, som kommer av betydelig forskjell i trefuktighet fra den ene siden av treelementet til den andre (i tykkelsesretningen). Dette er forhold som er viktig å ta i betraktning når man skal prosjektere og bygge med massive treelementer. I dette prosjektet er det valgt en ribbekonstruksjon med gjennomgående stålstag og et tett og slitesterkt dekke som vil hindre fuktgjennomtrekking. På bakgrunn av den valgte konstruksjonen forventes ikke kuvingsproblematikk eller krymping og svelling av trevirke å utgjøre noen risiko for parkeringshus i tre.

3.5. Brann

Det er utført en egen vurdering av brannmessige forhold ved bruk av tre i fleretasjes parkeringshus. Det er konkludert med at parkeringshus i 3 til 6 etasjer, utført med bærende trekonstruksjoner R 60, inklusive dekker, vil gi vesentlig høyere sikkerhet enn det som aksepteres i henhold til veiledningen til Teknisk forskrift 1997 (R 15 - ubrennbare konstruksjoner). Dette gjelder ikke minst i forhold til brannmannskapenes sikkerhet. Det er her forutsatt at:

- Alle etasjer i P-huset ligger over terreng og har minst 1/3 av veggflatene åpne.
- Øverste parkeringsplan er maksimalt 16 m over gjennomsnittlig planert terreng rundt bygningen.

Det forutsettes dessuten tilstrekkelig dokumentasjon for at akselererende flammespredning på undersiden av dekkene ikke vil oppstå. Dette er foreløpig dokumentert teoretisk, men vil kreve noe videre dokumentasjon.

Bortsett fra avvikene fra veiledningen til Teknisk forskrift 1997 mht. bruk av trematerialer i bæresystemet, inkl. etasjeskillere og treoverflate på undersiden av dekkene, er det forutsatt at bestemmelsene i veiledningen følges. Basert på en komparativ vurdering mot akseptert ytelsesnivå iht. veiledningen til Teknisk forskrift 1997, anses det ikke nødvendig å iverksette kompensierende tiltak. Parkeringshus i inntil to etasjer kan utføres i trekonstruksjoner R 30 (dekker REI 30) iht. veiledningen til Teknisk forskrift 1997 uten avvik.

3.6. Kostnader og byggetid

Forutsatt fundamentering på middels gode løsmasser er investeringskostnaden for det undersøkte bygget med 12 halvplan beregnet til kr 17.380.000,-, inklusive utgifter til prosjektering og byggeledelse, men eks. mva. Med 205 parkeringsplasser gir dette en investeringskostnad på kr 85.000,- pr. parkeringsplass. For sammenligning med kostnader for parkeringshus uten tak er det også regnet ut tilleggskostnadene ved å gi adkomst til taket for biler. Dessuten er det tatt med at en av rømningsveiene kan legges utenpå bygget; noe den valgte, begrensede tomten ikke ga anledning til. Investeringskostnaden øker da med ca. kr 725.000,- eks. mva., mens investeringskostnaden pr. parkeringsplass reduseres til kr 71.000,-.

Det må her også huskes at begrensningene fra den valgte tomten gir større kostnader pr. parkeringsplass enn for et parkeringshus, hvor tomtestørrelsen ville gi større frihet og tillate flere parkeringsplasser i forhold til areal for ramper og kjørefelt.

Byggetiden for dette parkeringshuset er vurdert til ca. 7 måneder.

3.7. Livssyklus kostnader

Det er gjort en sammenligning av livssyklus kostnader for dette parkeringshuset og et tilsvarende bygg utført i stål/betong. Sammenligningen er beheftet med en

del usikkerheter, særlig fordi stål/betongalternativet ikke er blitt dimensjonert og kalkulert spesielt. Kostnadene for dette alternativet, og for riving og demontering, er basert på tilgjengelig litteratur, bortsett fra demonteringskostnadene og restverdien av trehuset som har blitt vurdert spesielt i prosjektet.

Beregningene gir at årskostnadene for parkeringshuset i tre er ca. kr 9.800,- eks. mva. pr. parkeringsplass, som meget nær tilsvarer kostnadene for stål/betongalternativet, når det ikke tas med kostnader til riving og heller ikke tas hensyn til restverdi av rivingsmaterialene.

Det foreliggende parkeringshus er spesielt utformet med tanke på enkel demontasje og gjenbruk. Restverdien ved gjenbruk i tilsvarende parkeringshus etter 10 - 20 år er vurdert til netto ca. kr 4 - 5 mill. tilsvarende kr 20.000 - 24.000 pr. parkeringsplass.

Når alle livssyklus-kostnader tas med, konkluderes det med at tre som hovedmateriale for det aktuelle parkeringshus vil være kostnadmessig likeverdig med, eller bedre enn, et tilsvarende bygg i stål/betong.

På dårlige grunnforhold forventes det at trealternativet kommer enda bedre ut på grunn av den betydelige lavere vekten av bygget.

3.8. Miljøvurdering

Det er foretatt en miljøvurdering av parkeringshuset, og også gjort en sammenligning med alternativet i stål/betong. Miljøvurderingen er en såkalt screening livssyklusvurdering som følger ISO 14040 i en vugge til fabrikkportbetragtning.

Resultatene viser at selv med de relativt små mengder stål i trealternativet, bidrar dette materialet mest både til global oppvarming og forsuring. Tre-materialene gir det største bidraget til overgjødning og dannelse av bakkenært ozon.

Sammenligningen mellom de to alternativene er gjort forenklet ved å sammenligne parkeringsdekke utført i massivtre med hulldekke i betong. Resultatene viser at bidraget til global oppvarming, forsuring og overgjødning er langt større for hulldekkeelementet enn for massivtredekket.

Å bygge parkeringshus i tre synes å gi store fordeler om en ser isolert på miljøbelastningen.

Fordelene ligger primært i mindre utslipp av klimagasser, samt binding av karbon i treverket.

4. Innledning

4.1. Bakgrunn

Det er mangel på parkeringsplasser på mange hold i Norge. Dette gjelder i byer, tettsteder og ved stasjoner og stoppesteder for offentlige kommunikasjonsmidler. For enkelte av disse vil det være behov for permanente parkeringsanlegg. For andre kan en løsning være at det bygges et midlertidig anlegg for å dekke et umiddelbart behov, men hvor det er ønskelig med en innebygget og planlagt fleksibilitet som tillater at anlegget enkelt kan fjernes og gjenbrukes et annet sted. Dette kan for eksempel være tilfelle på bytomter hvor det planlegges annen utnyttelse av tomten i framtiden.

Prosjektdeltakerne mener at tre som konstruksjonsmateriale har store muligheter for slik anvendelse. Det kan gi parkeringshus med "varmt" og tiltalende preg som virker berikende på nærmiljøet. Treets lave vekt/styrkeforhold kan blant annet føre til kostnads- og materialbesparelser gjennom enklere og lettere fundamentering. Videre er tre lite varmeledende, det er fleksibelt og lett bearbeidbart, det har tiltalende utseende, er lett å transportere, har lang levetid og det gir en miljøvennlig utnyttelse av en fornybar ressurs. I tillegg kommer at en stor grad av prefabrikasjon gir lite støy og forurensning og raskere fremdrift i byggefasen, noe som kan være en stor fordel i byområder og tettbygde strøk.

Basert på erfaring fra annen anvendelse av trekonstruksjoner så en muligheter for å kunne lage et økonomisk parkeringssystem som er konkurransedyktig mot parkeringshus bygget av andre materialer. I tillegg kunne en modularisert trekonstruksjon ha en betydelig tilleggsfordel i at den lett kan demonteres, og at hele eller deler av bygget kan gjenbrukes.

Hvis produktet blir vellykket på hjemmebane, kan det bli et interessant eksportprodukt, eller gi grunnlag for salg av teknologi.

4.2. Målsetning

Prosjektets målsetning har vært å utvikle et økonomisk og miljøvennlig parkeringshus som er modularisert, demonterbart og fleksibelt og er basert på fornybare og lite forurensende ressurser.

4.3. Metodikk

For å nå denne målsetningen har prosjektet valgt å utvikle et konsept for parkeringshus på en konkret lokalisering, og gjennom dette demonstrere at tre er interessant som byggemateriale for parkeringshus i Norge. Den valgte tomten er vurdert å være representativ for en enkelt, ledig tomt som kan finnes i et byområde. Den begrensede tomtestørrelsen dette gir medfører en stor utfordring i å finne en effektiv planløsning for et parkeringshus, da ramper og kjørebaneer nødvendigvis legger beslag på en relativt stor del av arealet.

Prinsipløsningene som er utviklet er i stor grad basert på moduler, og er derved fleksible og kan tilpasses andre størrelser og former av en aktuell byggetomt. Prosjektet har på denne bakgrunn vurdert:

- Arkitektonisk utforming, funksjonsdyktighet og fleksibilitet
- Tekniske utfordringer, som
 - Løsninger for å sikre bestandighet av konstruksjonene
 - Oppbygging av dekkekonstruksjonene
 - Brannsikkerhet
 - Størrelse og utforming av elementer for økonomisk transport og montasje
 - Forbindelser for lett vint montering og demontering
 - Optimal fordeling mellom prefabrikasjon og montering på stedet
- Praktisk størrelse på anlegget
- Byggekostnader, vedlikeholds- og driftskostnader og konkurransedyktighet
- Kostnader ved demontering
- Levetidskostnader og miljøregnskap

Det har vært et viktig poeng å vurdere egnetheten av tverrspente massivelementer av tre i forskjellige anvendelser i bygget og benytte slike der det er hensiktsmessig.

Det har videre vært sentralt for prosjektet å utvikle et sikkert og funksjonsdyktig produkt, i tillegg til å demonstrere at det er økonomisk, energi- og miljømessig konkurransedyktig i forhold til konkurrerende alternativer.

4.4. Nytteverdi

Prosjektet mener å medvirke til:

- mer energi- og miljøvennlige parkeringshus
- muligheter for økt utnyttelse av midlertidig ledige parkeringsarealer i byområder med estetiske trekonstruksjoner som tilfører “varme” og “vennlig” preg i bymiljøet
- utvikling av løsninger som kan være aktuelle for andre anvendelser av trekonstruksjoner, som i bruer og fleretasjes kontor- og boligbygg

En ser derfor at et vellykket prosjekt vil bidra på områder som:

Energi og miljø: Tre har betydelige energi- og miljømessige fordeler, da det er en fornybar ressurs og det er CO₂-nøytralt. Det krever lite energi til fremstilling og er velegnet til gjenbruk. Det er lett i forhold til styrken og krever derfor mindre energi til transport og innløfting/montasje av elementer. Reising på byggeplassen krever kun lett byggeplassutstyr, og dette vil redusere støyproblemer. Alt ligger også til rette for et godt, renslig og tørt arbeidsmiljø på byggeplass. Tre i byområder vil bidra til et attraktivt bymiljø. Treelementene vil være en viktig energiresurs ved endt tjeneste.

Materialer og avfall: Gjenbruk av hele eller deler av parkeringshus vil redusere materialbruk og avfall fra byggevirkksomheten.

Byggeskikk og arealplanlegging: Midlertidige ubrukte tomtearealer kan tas i bruk på en hensiktsmessig måte, og bli bebygget med konstruksjoner som bidrar til et attraktivt bymiljø.

Massivtreelementer: Da massivtreelementer, i tillegg til parkeringshus, forventes å ha et betydelig potensiale innen brodekker, etasjeskillere og balkonger både i nye og eksisterende hus, har prosjektet også betydning for å videreutvikle massivtreelementer for praktisk anvendelse i en videre forstand.

Kompetanseutvikling og spredning: En viktig side ved prosjektet er at det skal bidra til økt kompetanse for trekonstruksjoner innen byggebransjen på et mer generelt plan enn bare for anvendelse innen parkeringshus. Manglende kompetanse regnes som en av de viktigste begrensende faktorer for bruk av tre som byggemateriale i Norge i dag.

4.5. Prosjektdeltakerne

Deltakerne i prosjektet har vært: Statsbygg, Moelven Industrier ASA, Moelven Limtre AS, Indigo Invest, Narud-Stokke-Wiig Arkitekter AS, rådgivende ingeniør Aadnesen a.s, Norges byggforskningsinstitutt (NBI) og Norsk Treteknisk Institutt (NTI).

Prosjektdeltakerne dekker de viktigste deler av den vertikale kjeden som vil være involvert i realiseringen av et slikt prosjekt, nemlig: arkitekt, byggeteknisk rådgiver, produktleverandør, utbygger, eier og driftsselskap, samt landets fremste FoU-institutter på området. For ordens skyld nevnes at Indigo Invest er eier og utbyggingsselskap for parkeringsanlegg i Norge, Sverige, Danmark og Finland, med Europark som driftsselskap.

Gjennom denne sammensetningen av prosjektdeltakere er samspill, tverrfaglig forståelse, kunnskapsformidling, gjensidig kompetanseoppbygging og totalforståelse et viktig resultat av prosjektet.

4.6. Bidragsyttere

Prosjektet vil rette en takk til Norges forskningsråd, NFR, for deres bidrag på kr 500.000, og til Statens Nærings- og Distriktsutviklingsfond, som gjennom "Verdiskapingsprogrammet for bruk og foredling av tre" har støttet prosjektet med kr 250.000,-.

Av prosjektdeltakerne har følgende bidratt med kontantmidler: Statsbygg med kr 150.000, NTI med kr 100.000 og Moelven Industrier med kr 50.000. Prosjektdeltakerne har i tillegg utført betydelig egeninnsats, slik at de totale registrerte kostnader beløper seg til kr 1.922.000.

Prosjektet har vært ledet av en styringsgruppe bestående av representanter fra alle prosjektdeltakerne.

Dr.ing. Bernt Jakobsen, Aadnesen a.s, har vært prosjektleder og har rapportert til styringsgruppen.

Videre har følgende vært ansvarlige for ulike deler av arbeidet:

Siv. ark. Morten S. Haave, Narud-Stokke-Wiig AS:

Arkitektonisk utforming

Siv. ing. Sverre Wiborg, Aadnesen a.s:

Bæresystem

Tekn. dir. Åge Holmestad, Moelven Limtre AS:

Byggemetoder, kostnader, byggetid,
gjenbruk

Siv. ing. Jarle Aarstad, NTI: Bestandighet

Siv. ing. Jarle Svanæs, NTI: Livssyklus kostnader og miljøregnskap

Dr. ing. Vidar Stenstad, NBI: Brann

5. Arkitektonisk form og uttrykk

Parkeringshus i tre er et nytt og spennende konsept som stiller andre utfordringer og problemstillinger for arkitekten, enn det som er vanlig for tradisjonelle parkeringshus. Et utviklingsprosjekt som skulle se på konsekvensene av å bruke tre som hovedmateriale i et parkeringshus, og bruken av en begrenset tomt i et bymiljø, var derfor interessant av flere årsaker.

Utgangspunktet for utformingen av et parkeringshus i tre er erfaringer fra bruken av massivtre i bærende konstruksjoner. Dette er basert på gode erfaringer fra utforming av massivdekker i trehus, og broer i tre.

Det ble som utgangspunkt for prosjektet valgt en ledig tomt sentralt i en middels stor norsk by. Tomten er valgt som representativ for en typisk ledig tomt som kan finnes i mange bysituasjoner, med mål ca. 32 x 32 m. Den hadde derfor beskjedne mål for et parkeringshus innen rammen av byens målestokk og materialbruk.

Med bakgrunn i dette, og ønsket om å benytte treet som gjennomgående materiale, ble planløsninger studert.

I første fase av prosjektet ble det utført studier av flere mulige former for effektiv parkeringsutnyttelse av dette arealet, men fortsatt med trematerialet som det bærende element. Dette inkluderte blant annet bruk av avanserte hydrauliske løftesystemer, som ga store muligheter for kompakt og effektiv arealutnyttelse. Av forskjellige grunner ble ikke arbeidet på dette sluttført, da kostnader og løsninger ble vurdert å ligge utenfor den fastsatte oppgavens egentlige innhold. Det videre arbeid ble derfor konsentrert om en tradisjonell planløsning for parkeringshuset, med kjøreadkomst fra gatenivå.

Ut i fra tilgjengelig plass på tomten med bredde over 30 m og adkomst fra sidegatene, ble løsningen en organisering med felles ramper i bygget for kjøring opp og ned til etasjene, med adkomst og utkjøring på samme sted. Bygget ble organisert med halvplanssprang som utnyttet tomtens helning, ga akseptable stigninger på rampene, og som samtidig begrenset den totale høyden mot omgivelsene. Prinsippet vil fungere like godt på en flatere tomt.

I denne utviklingsstudien ble det valgt et relativt høyt antall etasjer, og parkeringen er fordelt over 12 ulike halvplan. Antall etasjer og dermed høydeutnyttelsen kan tilpasses lokale forhold og begrensninger, ettersom byggets konstruktive elementer er modulbasert med høyde på 2900 mm.

Parkeringsplassene har mål 2,5 x 5,0 m med kjørebredder på 6,5 m. I første etasje er det to større handikapplasser. Slik dette parkeringshuset er organisert, er det plass til 205 biler fordelt over etasjene.

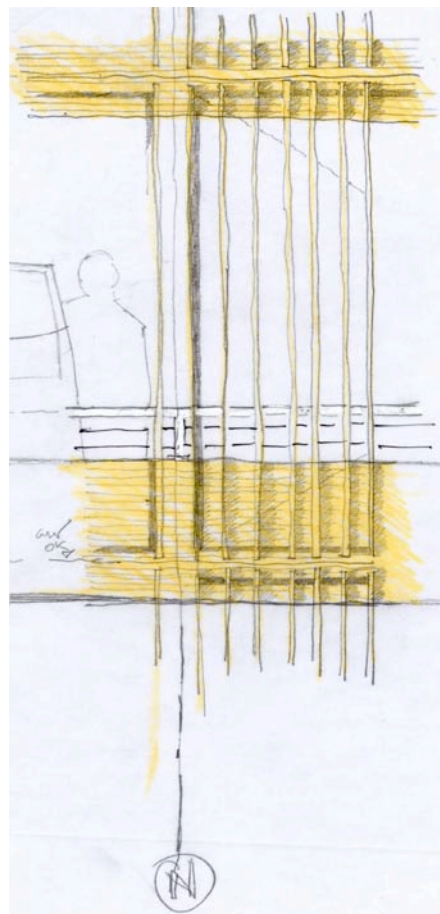
Den tilnærmet kvadratiske planen som i dette tilfellet med bredde ca. 32 m, er minimum for parkeringshus. Ved tomter med større lengde vil utnyttelsen bli gradvis bedre for hver bilbredde som kan legges til. Kjørearealet og rampene tar

i denne situasjonen en stor prosentvis del av bygget, men slik som bygget er organisert, ble det likevel en akseptabel utnyttelse av tomten.

For fotgjengeradkomst og rømning ble trapper og heis lagt i byggets randsoner på utsiden. Et av disse trapperommene legger beslag på i alt 12 parkeringsplasser. Disse trapperommene kan i en annen tomtesituasjon gjerne legges et annet passende sted for økt arealutnyttelse, da bæresystemet i bygget er generelt organisert ut i fra en fast stamme.

Ut i fra generelle brannhensyn er trapperommene og heissjakten utført i ubrennbare materialer som Leca eller tilsvarende, og prefabrikerte betongelementer for trapper og dekker.

Som en ytre ramme, og byggets kledning, er benyttet vertikale panelbord c/c 250 mm med frilagt kant, som vist i skissen under. Denne kledningen er montert på lette stålrammer for enkel montasje og demontasje. Partiene mot rampene med fagverk for avstivning av bygget er kledd med plater i kryssfiner, eller alternativt glatte panelbord. Alle trematerialer er forutsatt brannbeskyttet og overflatebehandlet før montasje. Overflatebehandlingen kan tilpasses de lokale omgivelser. All innfesting er forutsatt utført som modulbasert for vedlikehold, og demonterbarhet for videre bruk et annet sted.



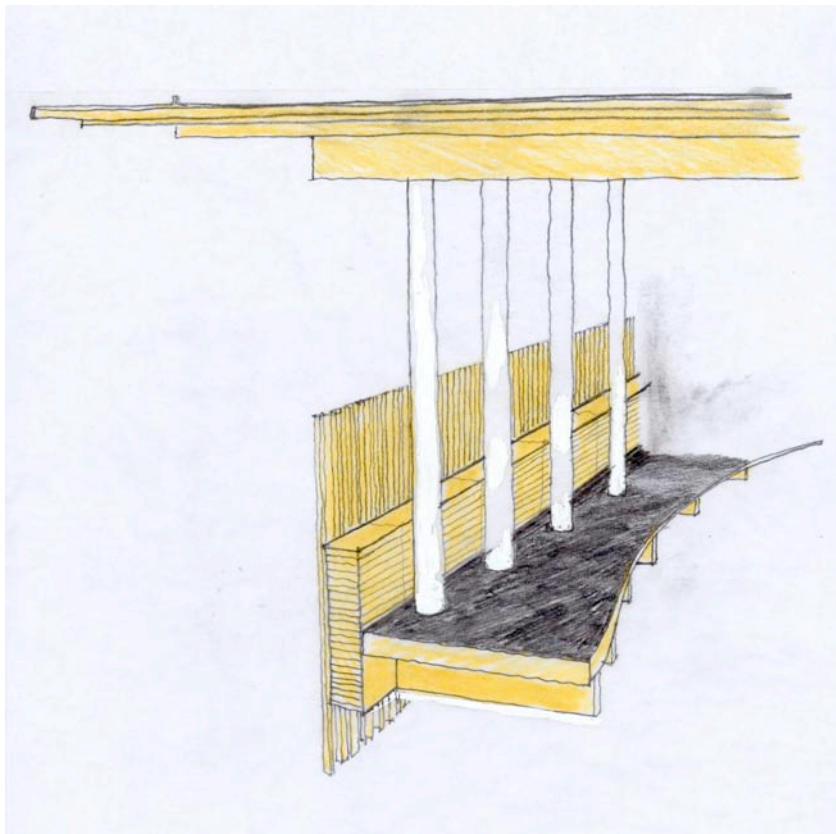
Treet i de vertikale lamellene danner byggets ytre hud mot omgivelsene, med karakteristisk og identitetsskapende uttrykk. Dette er uvanlig for P-hus, som

oftest ikke har noen fasade, og den valgte løsning vil i dette tilfellet kunne lette en innplassering i en bysituasjon, med krav til fasadeutforming og materialvalg i harmoni med omgivelsene. Fasaden er åpen, i den forstand at bygget rett utenfra oppleves slik fordi man ser imellom lamellene. Ved vandring langs fasaden fremstår den som lukket, og endrer karakter og uttrykk underveis.

Det har vært et overordnet mål å gi bygget en rolig og harmonisk identitet som kan plasseres inn i en gitt situasjon, samtidig som virkemidlene er enklest mulige. I og med parkeringshusets lokalisering inne i en eksisterende bebyggelse, falt det også naturlig å etablere bygget med en femte fasade, taket. Dette bidrar også til mindre vanninntrengning, søl og problemer med brøyting og snøfall.

Taket bæres av mindre søyler i et sekundært bæresystem som også gir bygget en markant avslutning, og som kan tilpasses omgivelsenes krav til gesimshøyder osv., se skissen under.

En tomt bebygget med et parkeringshus av denne typen, i et kvartal som dette, ville derfor kunne oppleves som både innholdsrik og spennende.



Vedlagte tegninger fra Narud □ Stokke □ Wiig AS viser situasjonsplan, typiske etasjeplaner og snitt, samt fasader. Se side 60.

6. Tekniske utfordringer

Ut fra prosjektets målsetning skal parkeringshuset tilfredsstillende en lang rekke krav. Det skal blant annet være:

- Estetisk attraktivt
- Sikkert og funksjonsdyktig
- Økonomisk interessant, både ved første gangs bruk isolert sett og ved gjenbruk
- Fleksibelt og tilpasningsdyktig
- Modularisert med tanke på enkel montasje, demontering og gjenbruk
- Bestandig, med lite behov for vedlikehold
- Brannsikkert
- Lite energikrevende mht. materialbruk, transport og montasje
- Lite forurensende i form av støy og utslipp

De arkitektoniske utfordringer er behandlet i kap. 5.

I utgangspunktet var prosjektet opptatt av at tre skulle benyttes der hvor tre er fordelaktig fremfor andre materialer. Materialer som stål og betong skulle benyttes i konstruksjonsdeler der det er hensiktsmessig.

Videre antok en i starten av prosjektet at det ville være riktig å benytte massivelementer i tre i stor grad, både i dekker og i avstivende vegger. Massivelementer i tre er i økende grad benyttet i moderne trehus og i dekker i norske trebroer. Slike elementer kan bygges opp på flere forskjellige måter, se Ref. /1/, men slik de er benyttet her består de av plank som er sammenføydd på høykant ved tverrforspenning og eventuelt med lim. Det ble derfor startet med å se på bæresystemer basert på massivelementer. Samtidig ble alternative løsninger som ribbedekker og fagverkskonstruksjoner vurdert, og de som totalt sett ble vurdert som best egnet og som mest økonomiske, ble valgt.

En typisk etasjeplan for parkeringshuset er vist på tegn. A1106.A4. Det ble funnet mest hensiktsmessig å lage en halvplanløsning, da denne vil gi flest parkeringsplasser på et begrenset tomteareal.

Hvis det valgte systemet skal benyttes på en tomt som avviker i form og størrelse fra det som er benyttet i dette utviklingsprosjektet, er systemet meget fleksibelt for endringer i byggets lengderetning. Antall parkeringsplasser og lengden på kjernen kan justeres. Hvis lengden øker vesentlig, vil det bli aktuelt å legge inn en eller flere tversgående avstivningsvegger. Hvis tomtens utstrekning i tverretningen blir noe særlig mindre, synes det vanskelig å få til et rasjonelt parkeringshus. Hvis utstrekningen i denne retningen øker tilstrekkelig, kan det være aktuelt å velge fulle etasjer. Like fullt vil en i et slikt tilfelle kunne benytte de samme bæresystemene som vist for halvplanløsningen her.

Ved gjenbruk på en tomt som avviker noe i lengderetningen fra opprinnelig tomt, kan systemet om ønskelig tilpasses den nye tomten ved å endre antall

parkeringsplasser. I langt de fleste tilfeller vil hoveddelene av bygget kunne brukes på nytt, mens noen tilpasninger må påregnes.

Den største tekniske utfordringen har vært å finne en god og økonomisk løsning for dekkene, slik at de kan klare de lange, frie spennene som er nødvendig for å tilfredsstille kravene til søylefrihet i et moderne parkeringshus. Det var her viktig å finne løsninger basert på elementer og forbindelser som er godt egnet for produksjon, transport og montasje. Det var også et ønske om å minimalisere dekketykkelsen slik at brutto etasjehøyde kunne gjøres minst mulig.

Det ble ikke ansett som økonomisk interessant å vurdere massivdekker som spenner 17 m (se Prosjektforutsetningene i kap. 16), så det ble sett på massivdekker som spenner 6 - 8 m med opplegg på stålbjelker som bærer i hovedspennet på 17 m. Alternativt ble det vurdert ribbedekker i tre som spenner 17 m fritt. Av disse ble det siste systemet vurdert som totalt sett det beste, hvor hensynet til elementinndeling, transport og montasje veide tungt.

Som et alternativ til å la ribbedekket spenne i full 17 m lengde, ble det sett på å la det spenne over et parkeringsfelt og et kjørefelt, hvilket gir en spennvidde på ca. 13 m. Ribbedekket legges da opp på en stålbjelke som understøttes av søyler plassert noe inn i parkeringsfeltet, se tegn. B-03. Over den resterende del av parkeringsfeltet legges et massivdekke. Denne løsningen ble endelig valgt av økonomiske grunner. Ulempen er at den medfører to søyler i parkeringsområdet i det indre kjerneområdet for hvert halvplan. Dette er imidlertid vurdert som bruksmessig akseptabelt. Hvis det skulle være sterkt ønskelig å unngå disse søylene, er det fullt mulig, men kostnadene vil øke noe.

Disse dekkene ble dimensjonert for å ha tilstrekkelig bruddstyrke, både under ordinære bruksforhold og ved brann, etter reglene i NS 3470, NS 3472 og NS 3491.

Dekkenes funksjonsdyktighet ble påvist ved å vise at nedbøyninger og nødvendige overhøyder ga akseptable deformasjoner ut fra visuelle krav og krav om å unngå motfall ut fra hensynet til avrenning. Videre ble dekkenes svingningsegenskaper analysert. Krav til stivhet for å unngå ubehagelige svingninger finnes hovedsakelig for dekker med egenfrekvenser over 7,5 - 8 Hz, se for eksempel NS 3490 og Ref. /2,3/.

Med de lange spennene her vil laveste egenfrekvens være langt under 8 Hz. De eneste krav en har funnet med relevans for denne type konstruksjoner gjelder gangbroer. I Ref. /4/ er det referert danske og svenske krav. I Ref. /5/ angis at hvis laveste egenfrekvens i vertikalretning er lavere enn 5 Hz, skal akselerasjonen fra gangtrafikk være begrenset til 0,7 m/s². I Statens vegvesens prosjekteringsregler for broer, Håndbok 185, del IV, pkt. 1.3.2 kreves det at akselerasjonen a i m/s² for svingningsømfintlige bruer skal oppfylle kravet

$$a = 0,25 \times 10^{0,7782 \log f} \quad (6.1.)$$

hvor f er konstruksjonens laveste egenfrekvens i Hz. Det gis der også en formel for tilnærmet beregning av akselerasjonen. Denne stemmer rimelig bra med

beregningsprosedyren som er utviklet i Ref. /6/. Dekkene er kontrollert i henhold til kravet i Håndbok 185.

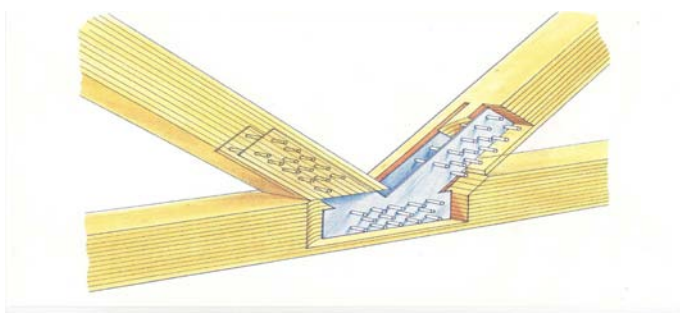
En av fordelene med tre er det lave vekt/styrkeforholdet. Dette vil gi enklere og billigere fundamentering enn et tilsvarende parkeringshus bygget i tyngre materialer, særlig ved dårlige grunnforhold. En utfordring med den lave vekten er imidlertid at et trebygg kan bli så lett at det må bygges inn ekstra vekt nede ved fundamentene for vindavstivningssystemet for å sikre byggets stabilitet. For å unngå dette ble det valgt å benytte veggene i den indre kjernen som avstivningselementer, siden de bærer en betydelig del av byggets vekt.

Bruk av massivelementer i avstivningsveggene viste seg å ikke være hensiktsmessig. Denne løsningen ville ha medført uforholdsmessig stort forbruk av trematerialer. I tillegg ville den kreve en meget høy grad av tverrforspenning for å sikre tilstrekkelig skjærkapasitet over lamellfugene i veggene. Endelig var det også bekymring for at så store massivelementer ville medføre problemer som man på det nåværende tidspunkt ikke greide å forutse. Det ble derfor besluttet å lage disse "avstivningsskivene" som fagverk.

Som nevnt foran er det viktig kostnadmessig å få til en hensiktsmessig inndeling, form og størrelse på elementene bygget i fabrikk. Med hensyn til transport og montasje lages ribbedekkene ferdig på fabrikk i elementer i full lengde med bredde på 2,5 m, som er lik bredden av en parkeringsplass. Elementene er ferdig tverrspent i fabrikk, og de spennes sammen til ferdig dekke på byggeplass ved bolter gjennom ribbene under dekkeplaten, se tegn. B-09. Dette sikrer enkel montasje, demontering og gjenbruk. Ved at elementene spennes sammen oppnås at de får en betydelig bærevirkning på tvers av hovedspennretningen og at dekkene virker som stive skiver i byggets avstivningssystem.

Fagverkene i avstivningsveggene bygges også i seksjoner som er velegnet for transport og montasje. Monteringsproblematikken er nærmere beskrevet i kap. 10.

I hovedbæresystemet er det for alle viktige knutepunkter valgt å benytte innslissede stålplater og stavdybler. Prinsippet for dette forbindelsesmidlet er vist på skissen under.



Knutepunkt med innslissede stålplater og stavdybler.

Som skissen viser, består knutepunktet av stålplater (tykkelse 8 mm) som ligger i på forhånd skjærte slisser i treverket. Optimal avstand mellom platene er 70 - 75 mm for 12 mm stavdybel, som er den mest brukte diameter for dyblene.

Dette forbindelsesmidlet er benyttet i alle de store trekonstruksjonene som er levert de siste 10 - 12 årene, så som OL-hallene, terminalbygget på Oslo Hovedflyplass, fotballhaller og store trebroer (Evenstad bro og Tynset bro).

Fordelene ved innslissede stålplater og stavdybler i forhold til de tradisjonelle forbindelsesmidlene er:

- Godt egnet for store tverrsnitt/krefter
- Gir små deformasjoner i forbindelsen, og er derfor godt egnet for avstivninger (fagverk)
- Meget god brannmotstand
- Utseendemessig gunstig
- God bestandighet

Det er lagt ned mye arbeid i å finne gode løsninger med tanke på å sikre bestandighet av trekonstruksjonene, for dermed å redusere levetidskostnadene. Etter å ha vurdert flere mulige løsninger er det valgt å beskytte tredekkene mot fuktighet med papp på taket og asfalt på parkeringsdekkene. Avrenning på parkeringsdekkene skjer ved fall 1:100 mot midten av bygget, hvor vann føres ned i punktsluk i parkeringsområdet og ved renner nedfelt i dekket ved nedre ende av rampene. Asfaltlaget vil også sikre mot gjennomrenning og eventuell misfarging av biler. Det vil dessuten gi et sklissert gulv. Det er valgt å benytte følgende oppbygging som slitelag: Direkte på tredekket legges et lag på 10 - 15 mm med asfalt type AGB 4. Dette laget er et trykkutjevningsslag som legges på for å unngå at man får "blærer" i det neste sjiktet. Over dette laget legges et sjikt med støpeasfalt STA 8 i ca. 25 mm tykkelse. Total tykkelse vil da være ca. 40 mm og veie ca. 1 kN/m².

Det er ikke tenkt at treet i dekkene behøver ytterligere beskyttelse. Ved eventuell demontering og gjenbruk kan asfalten freses av i et spor over hver skjøt i dekket. Etter at det er montert på nytt ved gjenbruk, kan ny asfalt fylles i sporene, og den nye asfalten vil klebe seg til den gamle og sikre vanntette skjøter.

Trekonstruksjoner i fasadene, som søyler og bjelker, gis en kjemisk trebeskyttelse. Eksponert front av ribbene i dekkene beskyttes med beslag.

Med tanke på brann er alle bærekonstruksjonene dimensjonert for å ha en brannmotstand lik R60. For elementer i avstivningssystemet er dette et avvik i forhold til Teknisk forskrift 1997. Dette avviket er begrunnet i kap. 9.

Avstanden til rømningsveier tilfredsstiller anbefalingene i Veiledning til Teknisk forskrift, og trappene skal tilfredstille kravene til "Trapperom Tr. 1" i samme veiledning.

7. Bæresystem

7.1. Generelt

Bæresystemet er i prinsippet likt i alle etasjer, men som beskrevet nedenfor skiller den øverste etasjen seg noe fra de øvrige ved de langsgående fasadene.

Vedlagte tegninger, fra s. 60, B-01 til og med B-11 fra Aadnesen a.s viser prinsipper og hovedtrekkene for bæresystemet.

7.2. Dekkene

Dekkene består av ribbedekker som spenner 13 m på tvers av bygget, og massivdekker inn i feltet mot kjerneveggene, se tegn. B-03. Ribbedekkene består av tverrspente elementer i full lengde og med bredde på 2,5 m. Det er tre ribber for hvert element. Dekket er 140 mm tykt, og totalhøyden på tredekket inklusive ribbene er 360 mm. På kanten av hvert element er det en ribbe med tykkelse 120 mm som etter at elementene er spent sammen med bolter gjennom ribbene gir en ribbetykkelse på 240 mm ved hver elementskjøt. De to mellomliggende ribbene har en bredde på 160 mm. Massivtredekkene har tykkelse på 140 mm.

Ribbedekket henges opp i en frontbjelke i fasaden, se tegn. B-06. Frontbjelken, med dimensjoner $b \times h = 200 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$, festes med stålbeslag til fasadesøylene som har senteravstand 7,5 m. I tillegg til å føre lasten fra ribbedekket inn i søylene, tjener de høye fasadebjelkene som kjøresterkt rekkverk, og er dimensjonert for en ulykkessituasjon med full påkjørsellast, se Prosjektforutsetningene. Ulykkeslasttilfellet brann er dimensjonerende for fasadebjelkene.

I den andre enden er ribbedekket opplagret på en stålbjelke som spenner på langs av bygget, se tegn. B-07. Stålbjelken er opplagret på to stålsøyler i parkeringsfeltet, og på de to tversgående avstivningsveggene. Denne stålbjelken danner også opplegg for massivdekket som i den andre enden har opplegg mot den langsgående avstivningsskiven. Tilsvarende stålbjelker danner opplegg for ribbedekket i rampeområdet. Stålbjelkene er brannbeskyttet ved at de kles inn med tre der dette er hensiktsmessig. Ellers er de påført brannisolerende maling.

Bruddstyrken av ribbedekket er fullt utnyttet ved brann, og det er også tilnærmet fullt utnyttet med hensyn til tillatte akselerasjoner ved gangtrafikk etter lign. 6.1. Det er regnet brann med tilhørende forkullingsdybde 49 mm etter 60 min. brann fra en side, enten på oversiden eller på undersiden av dekket. Dekket har laveste egenfrekvens lik 2,8 Hz, som gir tillatt akselerasjon på $0,56 \text{ m/s}^2$. Beregnet akselerasjon for gangtrafikk er $0,52 \text{ m/s}^2$. Dette er beregnet ut fra egenfrekvenser og nedbøyninger som er funnet med en bjelkeristmodell av dekket.

Alle stålforbindelser er utformet slik at de har tilstrekkelig brannmotstand. Dette er gjort enten ved at de blir beskyttet inne i trekonstruksjonene eller ved

at de påføres brannisolerende maling.

Ribbedekket gis en overhøyde på 80 mm. Den øyeblikkelige nedbøyningen fra egenvekt av dekke og asfalt er 32 mm, som gir en resulterende oppbøyning på 48 mm uten nyttelast. Etter lang tid er den permanente nedbøyningen 64 mm, som gir en resulterende oppbøyning på 16 mm uten nyttelast. Dette gir maksimal nedbøyning på 32 mm for full nyttelast. Med det valgte fallet på 1:100 gir ikke disse deformasjoner motfall noe sted for noen lastsituasjon.

7.3. Søylene

Søylene i fasaden er rektangulære med dimensjon $b \times h = 260 \times 440$ mm. For de indre søylene mellom parkeringsplassene er det valgt runde stålsøyler med ytre diameter 200 mm. Fasadesøylene i byggets hjørner har korsform. Av arkitektoniske grunner har søylene et spor på hver kortside. Søylene er dimensjonert for å tåle en ulykkessituasjon med full påkjørsellast i kombinasjon med vertikallast fra egenvekt og nyttelast. Det dimensjonerende lasttilfellet er brann.

7.4. Kjørerampene

Kjørerampene er bygget opp som trau, med bunn bestående av 140 mm tykke massivelementer i tre som spenner på tvers av rampen og trebjelker med dimensjoner $b \times h = 140 \times 800$ mm som bærende veggskiver langs rampen. Den innerste bjelken mot kjernen inngår som en del av bæresystemet i kjerneveggene. På rampene legges asfalt med samme oppbygging som for parkeringsdekkene.

7.5. Takkonstruksjonen

Av arkitektoniske grunner er takkonstruksjonen mot de langsgående fasadene noe annerledes enn de underliggende parkeringsdekkene, se figur i kap. 5. I øverste etasje er randbjelken understøttet av fasadesøyler for hver 2,5 m, og randbjelken er derfor mindre enn bjelkene i etasjene under, $b \times h = 200 \times 260$ mm. Søylene er dessuten trukket noe inn fra fasaden i forhold til søylene under. De underliggende ribbene i ribbedekket må derfor føre lasten fra søylene i denne etasjen, ut til fasadebjelkene og søylene i den underliggende etasje. Her får fasadebjelkene belastning både fra taket og fra sin egen etasje, og må gjøres kraftigere enn bjelkene i de øvrige etasjer, $b \times h = 220 \times 800$ mm.

7.6. Avstivningssystemet

Avstivningssystemet skal sikre at bygget er stabilt og ikke velter på grunn av vindbelastninger og andre horisontalbelastninger, eller på grunn av skjevheter i byggverket. Systemet består av dekkene, de avstivende veggene og tilhørende fundamenter.

Alle dekkene må virke som stive skiver og må være utformet slik at de kan overføre nødvendige horisontale skivekrefter inn i avstivningsveggene.

Ribbedekkeelementene er derfor innbyrdes forbundet med bolter gjennom ribbene som beskrevet i kap. 6. Videre må elementene både i ribbedekket og i massivdekket festes til den felles oppleggsbjelken av stål for derved å sikre at hele dekket oppfører seg som en stiv skive. Dekket må så festes til avstivningsveggene, slik at de horisontale kreftene kan føres inn i disse veggene.

Som forklart i kap. 6 er det valgt å benytte de tre veggene i husets kjerne som avstivende elementer. Av økonomiske grunner er det valgt å utforme bæresystemet i disse veggene som fagverk. Tegning B-10 og B-11 viser systemet for fagverkene i langsgående og tversgående vegger.

I den langsgående veggen blir det bygget inn bjelker $b \times h = 200 \times 360$ mm som danner opplegg for massivdekkene. Veggene kles med kryssfiner på begge sider. Kledningen tjener også som påkjørselsikring.

Fagverkene festes i underkant til støttemurer i betong som støpes monolittisk med sålefundamentene.

7.7. Fundamentering

Det er forutsatt fundamentering på middels gode løsmasser for hele bygget. Dette kan for eksempel bestå av stedlige morenemasser eller tilkjørt grus/sprengstein. Det kan aksepteres noe mindre setninger under fundamentene, ettersom bygget består nesten utelukkende av fritt opplagte elementer. Bevegelser av fundamentene bør likevel begrenses av hensyn til estetikk, ut og innkjøring, tilstøtende fortau og lignende.

Den valgte fundamenteringsmetode er stripefundamenter i betong under nødvendig del av yttervegg, samt under avstivende vegger i byggets kjerne. Fundamentbreddene vil generelt bli små som følge av de lette konstruksjonene. Den lette konstruksjonen gjør imidlertid at det må tas spesielle hensyn på steder med ekstra mye vind, for å sikre byggets stabilitet. Eksempel på tiltak kan være å støpe ekstra kraftige fundamenter for å øke byggets vekt, eller å legge inn ekstra avstivninger også i byggets yttervegger.

Fundamenteringsmåten må naturlig nok tilpasses det aktuelle byggested, og kan uten større konsekvenser for overbygningen endres fra såler til for eksempel peler. Det må uansett fundamenteringsmetode støpes en avstivende bjelke i betong under de vindavstivende veggene.

7.8. Gulv på grunnen

Gulv på grunnen inngår ikke som en del av bæresystemet for selve parkeringshuset, men skal benyttes som gulv i parkeringsdekkene i første etasje og i trapperom kombinert med fundament for trapper. Det velges en tradisjonell oppbygging som regnet ovenfra er:

- Betong C35 - Ekstrudert polystyren - Grus

8. Bestandighet

8.1. Generelt

I likhet med broer utsettes parkeringshus for et stort spekter av påkjenninger. I motsetning til de fleste andre bygninger har parkeringshus liten eller ingen beskyttelse fra værhud, og regn kommer ikke til for å vaske alle påkjente deler av konstruksjonen, som for eksempel dekkene.

Trebroer kan oppnå levetider som kan sammenlignes med broer av stål og betong gjennom god konstruktiv trebeskyttelse og bruk av trevirke med høy naturlig bestandighet, dvs. uten kjemisk trebeskyttelse. Vanlige skader på trebroer er råteangrep som følge av vanninntrenging i sprekker og ødelagte limfuger i limtre. En annen nedbrytingsprosess er korrosjon av strekkstag, forbindelser og beslag initiert av vegsalting.

Parkeringshus har vanligvis blitt bygget i betong eller stål, og det er først og fremst parkeringsdekkene som er utsatt for skader. Med henvisning til Ref. /7/ er vanlige skadetyper/årsaker:

- Biler som trekker med seg snø, og vann som kommer inn gjennom fasaden. Parkeringsdekkene må derfor ha avrenning for å unngå vannansamlinger.
- Sprekker i dekker som oppstår på grunn av nedbøyning eller overbelastning fordi dekkene er utført med for store lengder uten å være avbrutt av fuger.
- Slitasje fra piggdekk og evt. snørydding bryter først ned overflatebelegget og dernest dekket. Nedbrytningen kan forsterkes av vann som følger med bilene inn på betongdekket, og som gjentatte ganger fryser og tiner.
- Klorider fra vegsalt kan forårsake armeringskorrosjon i parkeringsdekker av betong.
- Lekkasjer i fuger (ekspansjonsfuger m.v.). Nedbryting skyldes først og fremst ultrafiolett stråling, mekanisk slitasje og alder.

Basert på erfaringer med trebroer og parkeringshus i betong og stål antas følgende forhold å ha størst betydning for bestandighet og levetid for parkeringshus i tre:

- Biologisk nedbryting
- Korrosjon (initiert av klorider m.v.)
- Utmatting (bevegelser fra kjøretøy)
- Mekanisk nedbrytning

En mer detaljert beskrivelse av bestandighetsproblematikk i forbindelse med parkeringshus i tre kan finnes i Ref. /7/.

8.2. Tre og fuktighet

Tre er et hygroskopisk materiale, som betyr at trefuktigheten over tid vil innstille seg på en likevektsfuktighet i henhold til klima omkring (dvs. temperatur og relativ luftfuktighet). I normalt utendørsklima på Østlandet kan en forvente svingninger i likevektsfuktighet fra ca. 11 - 20 % gjennom året. Det er viktig at trevirket tilpasses det nivået i likevektsfuktighet som vil opptre i omgivelsene der trevirket skal brukes. Likeledes er det viktig at problemstillingen rundt trefuktigheten blir ivaretatt under transport og lagring inntil trematerialet er i bruk og det reelle klimaet er etablert omkring trevirket.

Med bakgrunn i svingningene i likevektsfuktigheten vil dette føre til krymping og svelling i trevirket. Ved krymping og svelling vil trevirket generelt sett forandre dimensjon, mest på tvers av fiberretningen. Ved bruk av tverrspente (forspente) elementer vil imidlertid den påførte spenningen i denne retningen ha til hensikt å motvirke svelling i treelementet. I lengderetningen er krympingen beskjeden. Anslagsvis vil dette for et 12 m langt treelement av gran kunne utgjøre en bevegelse på ca. 6,0 mm. Utslagene er med andre ord ikke så store.

I enkelte tilfeller kan man få betydelig forskjell i trefuktighet fra den ene siden av treelementet til den andre (i tykkelsesretningen). Dette kan medføre at hele treelementet utvikler en kuvingsdeformasjon. Dette skyldes at trevirket krymper betydelig mer på den ene siden enn på den andre. Dette forholdet kan oppstå ved at treelementet blir direkte eksponert for vær og vind på den ene siden, og en viss form for innendørs oppvarming på den andre siden.

I vårt tilfelle vil vi ha en membran som er tett på oversiden og derfor vil gi et forholdsvis stabilt klima. På undersiden vil vi ha noe mer varierende klima avhengig av årstiden. Betrakter man derimot selve ribbekonstruksjonen med gjennomgående stålstag som er valgt i dette prosjektet, vil nok ikke kuvingsproblematikken utgjøre noen risiko for denne type konstruksjoner. Man har også etter hvert god erfaring fra de mange trebroer som er bygget i Norden den senere tid.

8.3. Biologisk nedbryting

Biologisk nedbryting er den viktigste nedbrytingsprosessen for tre. Forskjellige typer av bakterier, insekter og sopp krever tilstrekkelig fuktighet, temperatur og næringsstoffer for å kunne forårsake skade. Biologisk nedbryting svekker bl.a. trevirkets bæreevne, forankring av forbindelser og beslag og andre materialers vedheng.

Det er i dette prosjektet vurdert at trevirket må overflatebehandles for å beskyttes mot inntrengning av vann og UV-stråler. Overflatebehandlingen forutsettes utført med jevne mellomrom i hele byggets levetid. Med forutsetningen om overflatebehandling og god konstruktiv trebeskyttelse, er det ikke funnet noe forhold som tyder på at biologisk nedbryting av trevirke skulle utøve en risiko for parkeringshus i tre.

8.4. Korrosjon

Parkeringshus kan i likhet med broer i prinsippet være utsatt for korrosjon initiert av klorider. Kloridene stammer bl.a. fra biler som trekker inn vegsalt. Kloridmengden vil være størst i kjørebane rett innenfor inngangen og ved hver parkeringsplass. Kloridinnholdet vil avta lenger innover i parkeringshuset. Andre kloridkilder er avisingskjemikalier, og i kystnære områder også luftbårne klorider og sjøsprøyt.

Nedbryting av treverk som følge av klorider fra vegsalt, lekkasjer fra biler, svoveldioksid eller andre kjemiske stoffer er ikke ansett som noen aktuell problemstilling for trebroer, og det er ikke funnet noen forhold som tyder på at korrosjon av trevirke skulle utgjøre en risiko for parkeringshus i tre.

Når det gjelder korrosjon på forbindelser og beslag fra klorider, antas også dette å utgjøre liten risiko, fordi man svært sjeldent benytter innvendig salting i parkeringshus, og overdekningen til forbindelsene (eksempelvis tverrstagene gjennom treelementene) er betydelig større i treelementer enn i betongdekker.

8.5. Utmatting

I vanlige bygninger vil de dimensjonerende lastene være statiske, mens dynamiske laster kan være dimensjonerende for konstruksjoner som broer og parkeringshus. Bevegelige trafikkklaster er dynamiske, og medfører at deler av konstruksjonen periodevis utsettes for vekslende påkjenninger. Slike vekselvise belastninger, spesielt dersom de fører til vekslende mellom strekk- og trykkspenninger, kan medføre utmatting av materialene.

For trebroer er rene utmattingsbrudd i trevirket ikke ansett som noe reelt problem, da andre lasttilfeller normalt er mer kritiske og dermed dimensjonerende, og det er ikke funnet noen forhold som tyder på at utmatting av trevirket skulle utgjøre en risiko for parkeringshus i tre.

8.6. Mekanisk nedbryting

Mekanisk nedbryting kan komme fra biler i form av hjultrykk, bremsekrefter, påkjørsler, piggdekk og snørydding. Nedbryting i form av påkjørselskader må vurderes i forbindelse med vedlikeholds- og livssyklus-kostnader.

Erfaringer fra tidligere parkeringshus viser at kvaliteten på slitelaget på dekkene er meget avgjørende. Benytter man et slitelag som er godt dokumentert og som kan vise til god slitestyrke og lang levetid, vil mekanisk nedbryting ikke utgjøre større risiko i et parkeringshus i tre enn et parkeringshus i stål og betong.

8.7. Forebyggende tiltak mot nedbryting

8.7.1 Generelt

Det finnes flere tiltak for å motvirke og redusere nedbrytningen av trevirke. I de følgende kapitler er det nevnt noen tiltak som kan benyttes. De kan også benyttes samtidig.

8.7.2 Konstruktiv trebeskyttelse

Målet med konstruktiv trebeskyttelse er å formgi konstruksjonen slik at trevirket ikke fuktes opp og ikke utsettes for direkte sollys. I prinsippet er det enkle tiltak som brukes, men i praksis kolliderer de ofte med den estetiske formgivningen. Følgende grunnregler bør følges:

- Overkant av bjelker bør skråskjæres for vannavrenning
- Oppadvendte overflater bør helle (skråstilt)
- Alle hjørner bør avrundes
- Vannansamlinger i konstruksjonen bør unngås
- Sammenføyninger og skjøter bør ikke samle smuss
- Unngå oppadvendte spiker, skruer og bolter
- Nøyaktig og grundig behandling av endevved er avgjørende om man skal unngå råteskader. Unngå eksponering av endevved (for eksempel gjennom tilstrekkelig avstand fra kledningens endevved til bakken eller tilstøtende tak)
- Mulighet for forsegling/beskyttelse av endevved
- Overflatebehandling med beis, f.eks. maling
- Tett membran over parkeringsdekke
- Vann bør ledes bort fra konstruksjonen

For parkeringsdekker i betong er vannansamlinger en vanlig skadeårsak. Vannansamlinger skyldes vanligvis at det er for langt mellom slukene eller at det ikke finnes sluk i det hele tatt. Manglende fall til sluk er også en vanlig årsak. Ofte er slukene plassert i nærheten av søyler, og da vil nedbøyninger av parkeringsdekket gjøre at sluket kan bli liggende på det høyeste punktet på dekket.

8.7.3 Kjemisk trebeskyttelse

Kjemisk trebeskyttelse vil si at man tilfører trevirket stoffer (beskyttelsesmidler) som reduserer nedbrytingshastigheten betydelig. Beskyttelsesmidlene kan påføres ved overflatebehandling eller trykkimpregnering. Trevirke som overflatebehandles med beskyttelsesmidler får meget begrenset beskyttelse pga. liten inntrengning. Sprekker i trevirket gjør at sopper og insekter kan angripe det bakenforliggende, ubeskyttede trevirket. Det er vanligvis furu som trykkimpregneres i Norge. Imidlertid kan ikke kjerneveden impregneres, men den har til gjengjeld lenger holdbarhet. Trykkimpregnert virke bør benyttes på spesielt utsatte steder.

8.8. Beskyttelse av dekkene

8.8.1 Generelt

For et parkeringshus er det av avgjørende betydning å benytte et slitelag som er vanntett, slitesterkt og elastisk.

8.8.2 Oppbygging av dekke

I dette prosjektet har det vært vurdert flere alternativer til slitelag/topplag; fra enkle treplanker til mer avanserte oppbygninger med flere sjikt bestående av ulike membraner og folier.

Det er valgt å benytte følgende oppbygging som slitelag: Direkte på tredekket legges et lag på 10 - 15 mm med asfalt type AGB 4. Dette laget er et trykkutjevningsslag som legges på for å unngå at man får "blærer" i det neste sjiktet. Over dette laget legges et sjikt med støpeasfalt STA 8 i ca. 25 mm tykkelse. Total tykkelse vil da være ca. 40 mm og veie ca. 1 kN/m².

Denne type løsning har vært benyttet i flere parkeringshus, blant annet på Oslo Lufthavn Fornebu og parkeringshuset for ansatte på Gardermoen. Løsningen er godt dokumentert, vanntett og meget slitesterk, og den forventes å vare i hele byggets levetid.

8.8.3 Tilslutningsdetaljer og fuger

En mulig anvendelse av parkeringshuset er å kunne demontere, flytte og montere det opp igjen for gjenbruk et annet sted. Ved en eventuell flytting vil man frese opp slitelaget i elementskjøtene med vanlig asfaltfres maskin. Dette gjør at nesten alt slitelaget ellers på dekkeelementene vil bli liggende igjen til elementene er montert på nytt. Etter ny montasje bygges slitelaget i skjøten opp på nøyaktig samme måte som slitelaget for øvrig. Både asfalten AGB 4 og støpeasfalten STA 8 vil være oppvarmet til over 120 °C ved påførelse. Det medfører at den vil smelte sammen med slitelaget som allerede ligger på tredekket og at skjøten igjen vil være tett, elastisk og slitesterk.

9. Brann

9.1. Generelt

Dette kapitlet er til en viss grad basert på planer og underlagsmateriale for det foreliggende prosjektet, men analyser og vurderinger er gjort generelle. Vurderingene gjelder derfor for parkeringshus i trekonstruksjoner generelt.

Prosjektet forutsettes å være begrenset til parkeringshus for personbiler. Når det i rapporten brukes begrepet bil og bilbrann menes altså i begge tilfeller personbiler, dersom ikke annet er angitt.

Følgende forkortelser er benyttet:

TEK	=	Teknisk forskrift 1997
VTEK	=	Veiledning til Teknisk forskrift 1997, 2. utgave

Dette kapitlet er et sammendrag av Ref. /8/ som ble utarbeidet i dette prosjektet.

9.2. Regelverket

9.2.1 Krav til bærende konstruksjoner i teknisk forskrift 1997

Teknisk forskrift 1997 (TEK) stiller følgende krav til bærende konstruksjoner:

- Brannklasse 1 og 2: Bevare stabilitet og bæreevne for rømning og redning
- Brannklasse 3 og 4: Bevare stabilitet og bæreevne gjennom fullstendig brannforløp

9.2.2 Ytelsesnivåer for bærende konstruksjoner iht. veiledningen til Teknisk forskrift

Dersom veiledningen til Teknisk forskrift 1997 (VTEK) legges til grunn for prosjekteringen, må parkeringshus med mer enn 2 etasjer utføres med bærende hovedsystem av ubrennbare materialer. Dette gjelder også etasjeskillere som er stabiliserende, se tabell på neste side.

ANTALL ETASJER KRAVOMRÅDE	1-2	3-4	>= 5
Brannklasse	1	2	3
Bærende hovedsystem	R 30	R 60 u	R 90 u
Sekundært bæresystem	R 30	R 60	R 60 u
Trappeløp (rømningsveg)	Ingen krav	R 30	R 30 u
Overflater i rømningsveg	In 1, G	In 1, G	In 1, G
Overflater utenom rømningsveg	Ingen krav	In 1	In 1

Bestemmelser i veiledningen til Teknisk forskrift 1997. Forklaring: **u** betyr at det må brukes ubrennbare materialer.

Detaljert oversikt over bestemmelsene gitt i VTEK er vist i Ref. /8/. Under visse forutsetninger gir VTEK unntak for parkeringshus (fotnote 5 til tabell 1 i § 7-23):

”Parkeringshus med mer enn 1/3 av veggflatene åpne og øverste parkeringsflate ikke høyere enn 16 m over gjennomsnittlig planert terreng, kan utføres med brannmotstand R 15 med ubrennbare materialer. Åpningene må være slik fordelt at en oppnår god gjennomlufting”.

9.2.3 Dokumentasjon ved avvik fra veiledningen til Teknisk forskrift

Dersom et byggverk ikke bygges i henhold til veiledningens fortolkning av forskriften, dvs. avviker fra ytelsesnivåer gitt i VTEK, må det dokumenteres særskilt at krav gitt i TEK er tilfredsstilt.

Avvikene fra veiledningen omfatter i det aktuelle tilfellet:

- Bruk av trematerialer i bæresystemet inkl. etasjeskillere
- Treoverflate på underside av dekker

På øvrige områder vil bestemmelsene i VTEK bli fulgt, se Ref. /8/. Det må altså gjøres en analyse av hvilke konsekvenser de angitte avvik fra VTEK har for brannsikkerheten. Som del av analysen anses det å være spesielt behov for prøving/beregninger når det gjelder konsekvenser av treoverflate på underside av dekker. Dette skyldes at eventuelt rask flammespredning kan ha betydning for personsikkerheten. For konsekvensanalyse se Ref. /8/.

9.3. Bestemmelse av dimensjonerende brann

9.3.1 Generelt

Brann i bil(er) forutsettes å være dimensjonerende i et parkeringshus. Andre brannårsaker kan forekomme, men de vil ikke gi så rask utvikling og påfølgende påkjenning på bygningskonstruksjonene som brann i bil.

9.3.2 Parkeringshus

Data fra branner i parkeringshus/parkeringsanlegg (som næringsvirksomhet) i perioden 1994 - 99 er fremskaffet av Direktoratet for brann og eksplosjonsvern (DBE) på spesiell forespørsel. Følgende data er registrert i 6-årsperioden:

Dato	Antatt arnested	Årsak (kode)	Antatt skadebeløp (brannvesenets vurdering)	Anslått erstatning til branner > 500.000 kr
04.01.94	Utvendig	2.9	0 - 10.000 kr	
25.02.94	Bil	8.9	> 500.000 kr	2,4 mill. kr
24.05.95	Bil	*	0 - 10000 kr	
15.07.96	Parkeringshus	*	10.000 - 100.000 kr	
11.03.97	Fyrrom	8.3	0 - 10.000 kr	
28.04.97	Toalett	*	10.000 - 100.000 kr	
20.11.98	P-hus, kjellernivå	*	0 - 10.000 kr	

Forklaring til årsakskoder: **2.9:** Bar ild (ikke nærmere spesifisert), **8.3:** Utstyr for flytende/gassformig brensel, **8.9:** Annet (dvs. ikke spesifisert), *: Ikke oppgitt

Det er altså relativt få branner i parkeringshus. En årsak til dette antas å være at det i liten grad utføres varme arbeider (sveising, skjæring mv. - bilreparasjoner) der. Det kan også ha sammenheng med overvåkning/vakthold, noe som bl.a. reduserer sannsynligheten for påsatte branner.

9.3.3 Oppsummering – dimensjonerende brann

Data vedrørende effektavgivelse ved bilbranner varierer. Bilens alder har betydning. Nyere biler avgir trolig jevnt over mer effekt enn eldre, grunnet større mengde brennbare (plast-) materialer.

Som grunnlag for teoretiske betraktninger vedrørende flammespredning under parkeringsdekkene er valgt en brann med avgitt effekt 5 MW. Ved eventuell gjennomføring av fullskalaforsøk kan det vurderes om effekten skal økes til for eksempel 8 MW for å ta hensyn til brann i flere biler, eventuelt nyere, større biler som avgir høyere effekt.

En brann som starter inne i en bil (kupé eller motorrom) vil høyst sannsynlig ikke spre seg til nærstående biler før det er gått minst 10 minutter. Dersom det renner ut bensin som raskt gir utvendig flamme, kan spredningen skje raskere. Dette scenariet antas likevel mindre sannsynlig. Ved forsøk med brann i tre biler, sloknet brannen av seg selv i de to først antente bilene etter ca. 25 minutter, og i den tredje etter ca. 35 minutter.

For dimensjonering for brannmotstand kan det, istedenfor å bruke standard tid-temperatur-kurve etter ISO 834, være mer realistisk å bruke HC- (Hydro Carbon-) kurven. HC-kurven gir 1000 °C etter 8 minutters brann (tilsvarende for ISO 834 er ca. 600 °C) og 1100 °C etter 30 minutter. En prøvetid på 30 minutter etter HC-kurven vurderes å være dekkende for et fullstendig brannforløp.

Basert på "the equal area theory" (dvs. arealet under tid-temperatur-kurven, Ref. /8/ vil påkjenningen på en konstruksjon fra 60 minutters standardbrann være større enn fra 30 minutters HC-brann. Det vil si at dimensjonering basert på 60 minutters standardbrann kan anses å være sikker.

9.4. Konklusjon

Parkeringshus i 3 til 6 etasjer utført med bærende trekonstruksjoner R 60, inklusive dekker, vil gi vesentlig høyere sikkerhet enn det som aksepteres i henhold til veiledningen til TEK (R 15 - ubrennbare konstruksjoner). Dette gjelder ikke minst i forhold til brannmannskapenes sikkerhet.

Det forutsettes at:

- Alle etasjer i P-huset ligger over terreng og har minst 1/3 av veggflatene åpne
- Øverste parkeringsplan er maksimalt 16 m over gjennomsnittlig planert terreng rundt bygningen

Det forutsettes dessuten tilstrekkelig dokumentasjon for at akselererende flammespredning på undersiden av dekkene ikke vil oppstå. Dette er foreløpig dokumentert teoretisk, se Ref. /8/, men er nødvendig å verifisere ved fullskalaforsøk. Det vil også være viktig å dokumentere flammespredningen dersom undersiden av dekket ikke er plan flate, men et ribbedekke. Dette antas å være et noe ugunstigere alternativ rent brannteknisk, men flammespredningen kan eventuelt forsinkes eller hindres med flammeskjermer som monteres på tvers av ribbene. Alternativt kan undersiden av dekkene beskyttes med ubrennbar eller begrenset brennbar platekledning. Dette innebærer imidlertid en betydelig tilleggskostnad.

Bortsett fra avvikene fra veiledningen til Teknisk forskrift 1997 mht. bruk av trematerialer i bæresystemet inkl. etasjeskillere, og treoverflate på undersiden av dekkene, er det forutsatt at bestemmelsene i veiledningen følges. Basert på en komparativ vurdering mot akseptert ytelsesnivå iht. veiledningen til Teknisk forskrift 1997, anses det ikke nødvendig å iverksette kompenserende tiltak.

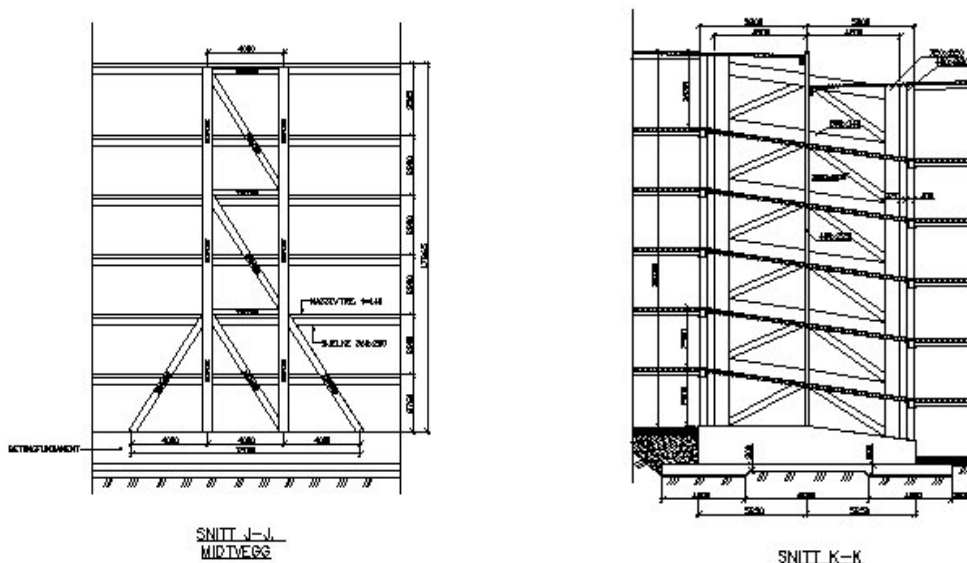
Parkeringshus i inntil to etasjer kan utføres i trekonstruksjoner R 30 (dekker REI 30) iht. veiledningen til Teknisk forskrift 1997 uten avvik.

10. Produksjon og montasje

10.1. Produksjon

Alt limtre i parkeringshuset er forutsatt å være i gran i kvalitet GL32C. Limtreet er limt med et vannfast melamin-urealim (MUF-lim).

For det vertikale bæresystemet vises det til snitt J-J og snitt K-K som vist nedenfor, se også tegn. B-10 og B-11.



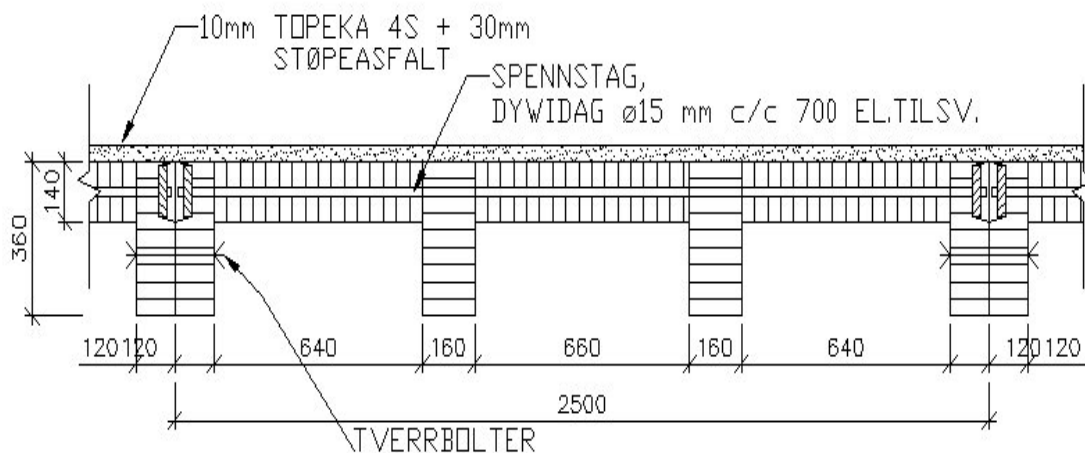
Vertikale og horisontale bærende elementer er søyler og bjelker med rektangulære tverrsnitt og produseres etter reglene i produksjonsstandarden NS-EN 386.

Forbindelsene i fagverkene som avstiver bygget utføres med innslissede stålplater (tykkelse 8 mm) og stavdybler ($\text{Ø} = 12 \text{ mm}$) i kvalitet S355. En prinsipptegning av denne utførelsen er vist i kapittel 6. Det har etter hvert blitt vanlig å bruke dette forbindelsesmidlet for konstruksjoner med store krav til styrke og stivhet.

Den midtre seksjonen på snitt J-J settes sammen på fabrikk og leveres som en enhet til byggeplass. Resten av søyler/bjelker legges ut i fabrikk, bores, merkes og leveres til byggeplass som enkeltelementer.

Fagverkene på snitt K-K er for store til å transporteres sammensatt til byggeplass. De blir derfor lagt ut og boret i fabrikk for deretter å bli transportert som enkeltelementer. Beslagene i knutepunktene (innslissede plater) vil sitte igjen i søylene slik at det blir forholdsvis få dybler å sette inn på byggeplass, og det blir bare få limtrekomponenter som må merkes.

For ribbedekkenes vises det til snitt H-H, hentet fra tegn. B-09, som vist på neste side.



SNITT H-H

De enkelte elementene i ribbedekket er tradisjonelle rektangulære limtrebjelker i gran, limt med vannfast lim og produsert etter reglene i NS-EN 386.

I fabrikken blir det så boret hull både i de vertikale og de horisontale elementene. Elementene blir spent sammen med høyfaste spennstag (Dywidag) til en elementbredde på 2,5 meter som vist på tegningen over. På denne måten vil elementet statisk fungere som et homogent tverrsnitt, og det har en bredde som er rasjonell både med hensyn på transport og montasje.

Fasadeelementene produseres på lette stålrammer som gir en enkel og rasjonell produksjon. På grunn av brannkrav må trespilene i elementene være brannimpregnert med Moelven Fireguard. Overflatebehandling av trespilene gjøres i fabrikk.

10.2. Montasje

Fagverket som vist på snitt J-J kommer ferdig sammensatt fra fabrikk i full lengde. Dette fagverket monteres først og avstives med barduner sideveis. Så monteres alle vertikale (som er i fulle lengder) og horisontale deler som er vist på snitt J-J.

Fagverkene i snitt K-K bør leveres i to deler slik at bare halve høyden (tre etasjer) monteres i første omgang. Dette fordi stabilisering av en søyle i full høyde vil kreve mye avstiving som vil være i veien ved den videre montasjen.

Når fagverkene i snitt K-K er på plass, monteres nødvendige søyler og HSQ-bjelker slik at dekkeelementene i kjerneområde kan monteres i halve høyden av bygget. Dermed er bygget avstivet.

Deretter monteres søyler i yttervegger, horisontale bjelker for opplegg av ribbedekke og kjøreramper etasje for etasje oppover. Søylene må deles i to eller tre deler på grunn av at det ellers ville bli veldig mye arbeid med avstivning.

De øverste tre etasjene monteres deretter på samme måte.

For å spare byggetid kan monteringen av fasadeelementene starte opp når det er montert to etasjer av hovedbæresystemet. Også bygging av trapperom og heissjakt kan starte i god tid før hele hovedbæresystemet er ferdig montert.

11. Kostnader og byggetid

11.1. Kostnader

Det er valgt å dele kostnadene opp i følgende elementer:

1. Graving og fundamentering

De enkelte postene er kalkulert til:

• Graving/fylling /asfaltering inne i P-hus	kr	166 000,-
• Spesiell graving og isolasjon under såler/murer	kr	64 000,-
• Støping av murer rundt P-hus	kr	250 000,-
• Støping av mur under midtvegg	kr	196 000,-
• Såler for heis/trapper	kr	43 000,-
• Fylling/arbeider på utsiden av P-hus	kr	65 000,-
• Drenering langs murer	kr	36 000,-
<u>Sum graving og fundamentering</u>	kr	820 000,-

2. Bærekonstruksjoner i limtre

De enkelte postene er kalkulert til:

• Dekkeelementer	kr	4 800 000,-
• Midtre fagverk m/fendere	kr	200 000,-
• Sidefagverk og søyler	kr	400 000,-
• Fasadesøyler og kantbjelker	kr	850 000,-
• Tak over øverste parkeringsplan	kr	600 000,-
• Stålbjelker (HSQ)	kr	500 000,-
<u>Sum bærekonstruksjoner i limtre fra fabrikk</u>	kr	7 350 000,-

Transport til byggeplass i Østlandsområde	kr	150 000,-
---	----	-----------

Montasje av bærekonstruksjon	kr	1 500 000,-
------------------------------	----	-------------

<u>Sum bærekonstruksjon levert og montert</u>	kr	9 000 000,-
--	-----------	--------------------

Med parkeringsplasser også på taket vil kostnaden øke med ca. kr 500 000,-.

3. Membran/asfalt/avvanning

De enkelte postene er kalkulert til:

• Membran/asfalt	kr	1 100 000,-
• Avvanning (renner, sluk, oljeutskiller, rør)	kr	300 000,-
<u>Sum membran/asfalt/avvanning</u>	kr	1 400 000,-

4. Trapperom, heis etc.

De enkelte postene er kalkulert til:

• Trapperom i Leca	kr	540 000,-
• Heis (1 stk)	kr	600 000,-
• Trapper i prefab betong (2 stk)	kr	300 000,-
• Ståldører (2 pr. etasje)	kr	60 000,-
Sum trapperom, heis etc.	kr	1 500 000,-

5. Fasader

De enkelte postene er kalkulert til:

• Panel på ramme	kr	420 000,-
• Trespiler	kr	480 000,-
Sum fasader	kr	900 000,-

6. Betalingssystem/skilting/utstyr

Kostnadene er kalkulert av Peek Traffic AS til å være:

• Skidata KA 450 inkludert programvare, intercom og intern TV	kr	870 000,-
• Skilter	kr	120 000,-
• Montasje	kr	110 000,-
Sum betalingssystem/skilting /utstyr	kr	1 100 000,-

7. Elektro

• Lys, kabling og skilt (rømningsveier)	kr	380 000,-
---	----	-----------

Kostnadssammendrag:

Graving og fundamentering	kr	820 000,-
Bærekonstruksjoner i limtre	kr	9 000 000,-
Membran/asfalt/avvanning	kr	1 400 000,-
Trapperom, heis, etc.	kr	1 500 000,-
Fasader	kr	900 000,-
Betalingsystem/skilting/utstyr	kr	1 100 000,-
Elektro	kr	380 000,-
Uforutsett (5 %)	kr	700 000,-

Entreprisekostnad kr 15 800 000,-

Prosjektering og byggeledelse (10 % av entrepr.kost) kr 1 580 000,-

Investeringskostnad kr 17 380 000,-

Dette er total investeringskostnad eksklusive tomtekostnader, finansieringskostnader og mva.

Forutsatt 205 parkeringsplasser vil investeringskostnaden pr. parkeringsplass bli: kr 85.000,-

Ved også å tillate parkering på taket (gir 35 flere plasser) og å legge rømningsveien utenfor bygget (gir 12 flere plasser) vil investeringskostnaden økes med ca. kr 725.000,- eks. mva. Investeringskostnaden pr. parkeringsplass vil imidlertid reduseres til: kr 71.000,-

11.2. Byggetid

En grov framdriftsplan for bygging er vist nedenfor. Det antas at en byggetid på 7 måneder vil være tilstrekkelig.

Prosess\Måned	1	2	3	4	5	6	7
11.2.1 Graving og fundamentering	-----	-----					
Montasje hovedbæring		--	-----	-----	----		
Fasader				---	-----	----	
Membran, asfalt, takbelegg					----	-----	
Trapperom, heissjakt					----	-----	----
Utstyr						----	-----

12. Gjenbruk

Hvis parkeringshuset bygges på en tomt som bare disponeres midlertidig (10 - 20 år), er det viktig at bygget er enkelt å demontere. Enda mer fordelaktig er det om store deler av bygget kan brukes om igjen i et nytt parkeringshus et annet sted. Den løsningen som er utviklet er meget gunstig i forhold til begge disse to ønskene.

Parkeringshuset i limtre kan i prinsippet demonteres i motsatt rekkefølge av monteringen. Ved å skjære opp asfalten i elementskjøtene kan de enkelte elementene i dekket og i det vertikale bæresystemet demonteres raskt ved å ta ut forbindelsesmidlene (skruer og dybler) i knutepunktene.

Et grovt overslag over kostnadene ved demontering/riving av hele parkeringshuset vil være:

- Demontering av bæresystem
(inklusive skjæring av asfalt og takbelegg) kr 1 500 000,-
- Demontering av fasadeelementer kr 200 000,-
- Riving av utstyr, trapperom, heissjakt osv. kr 400 000,-
- Riving av fundamenter, bortkjøring, planering osv. kr 400 000,-

Kostnad for demontering/riving kr 2 500 000,-

Når det gjelder gjenbruk så vil verdien av de enkelte deler være avhengig av hvor lang tid bygget har vært i drift. Dette gjelder spesielt for betalingsautomater, skilter, utstyr og elektro som både blir slitt og umoderne.

Når det gjelder fasader vil disse også kunne være tæret av tidens tann, men vil ha en verdi som er avhengig av vedlikehold og hvor lang tid bygget har vært i bruk. Av summen på kr 900.000,- for fasader er det ikke realistisk å regne med mer enn ca. kr 300.000,- i restverdi ved gjenbruk.

Den store besparelsen ved gjenbruk vil således ligge i hovedbæresystemet og i dekkeelementene. Hvor stor del av disse som kan brukes om igjen vil være helt avhengig av om tomten er slik at et nytt parkeringshus kan bygges med samme grunnflate og antall etasjer. Hvis det skal bygges et identisk parkeringshus vil det være mulig å spare hele kostnaden ved bæresystemet, noe som ville bety en besparelse på i størrelsesorden 7,0 mill. kroner.

Basert på disse forutsetningene vil investeringen som må inntjenes over det antall år parkeringshuset er i drift, være 4 – 5 mill. kroner lavere enn den totale investeringskostnaden.

13. Livssyklus kostnader

13.1. Generelt

I ny utgave av NS 3454, "Livssyklus kostnader for byggverk. Prinsipper og struktur", er livssyklus kostnader det sentrale begrepet, og sammenhengen med andre kostnadsbegreper er beskrevet der:

- Årlige kostnader
Beregnete eller registrerte kostnader for de enkelte år.
- Livssyklus kostnad
Kapitalkostnader pluss årlige kostnader til forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling (FDVU)
- Levetidskostnad
Summen av kapitalkostnad og nåverdien av alle utgifter til forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling (FDVU) i brukstiden, dvs. nåverdien av livssyklus kostnadene
- Årskostnad
Annuitet av levetidskostnaden, dvs. årskostnaden er summen av prosjektkostnaden og alle framtidige administrasjons-, drifts- og vedlikeholdskostnader minus bygningens restverdi, fordelt på bygningens "levetid"/brukstid.

Økonomiske beregningsmodeller som sammenstiller investerings- og driftskostnader kalles modeller for "Livssyklus kostnader" eller "LCC" (Life Cycle Cost). Det opereres med totalt tre nivåer for livssyklus beregninger, nivå 1, nivå 2, nivå 3. Det anses at en beregning på nivå 2 (jf. Byggdetaljer 624.012) er det aktuelle på dette stadiet i prosjektet.

I det følgende er det gjort forsøk på å sammenligne årskostnader for parkeringshuset i tre med et tilsvarende bygg utført i stål/betong. Da det ikke er laget tegninger eller noen detaljerte kostnadsvurderinger for det siste alternativet, er kostnadene for dette basert på HolteProsjektets kalkulasjonsnøkkel og FDV-nøkkel, Ref. /9/ og på beste skjønn. Sammenligningene inneholder derfor en del usikkerhetskilder, men skulle likevel gi et rimelig godt totalbilde.

13.2. Mengder og kostnader

For trealternativet gjentas kostnadssammenstillingen fra kap. 11.1 her for å lette sammenligningen mellom alternativene.

For stål og betongalternativet er det antatt et tillegg i fundamenteringskostnadene på 25 %, da dette alternativet vil være langt tyngre enn trealternativet. HolteProsjektets Kalkulasjonsnøkkel for parkeringshus over bakken, priser fra 2001 og normal bygningsstandard er benyttet. Utenom bærekonstruksjonen, fasade og fundamentering, dvs. for taktekking, slitelag på dekkene og teknisk utstyr, er kostnadene antatt å være de samme som for trealternativet.

Investeringskostnadene for de to alternativer blir som vist i tabellene under.

Kostnadssammendrag trealternativet

Graving og fundamentering	Kr	820 000
Bærekonstruksjoner i limtre	”	9 000 000
Membran/asfalt/avvanning	”	1 400 000
Trapperom, heis, etc.	”	1 500 000
Fasader	”	900 000
Betalingsystem/skilting/utstyr	”	1 100 000
Elektro	”	380 000
Uforutsett 5 %	”	700 000

Entreprisekostnad Kr 15 800 000

Investeringskostnad (10 % tillegg for prosjektering og byggeledelse) Kr 17 380 000

Kostnadssammendrag stål/betong

Graving og fundamentering	Kr	1 150 000
Bærekonstruksjoner	”	8 330 000
Membran/asfalt/avvanning	”	1 400 000
Trapperom, heis, etc.	”	1 500 000
Fasader	”	885 000
Betalingsystem/skilting/utstyr	”	1 100 000
Elektro	”	380 000
Uforutsett 5 %	”	700 000

Entreprisekostnad Kr 15 400 000

Investeringskostnad (10 % tillegg for prosjektering og byggeledelse) Kr 16 940 000

13.3. Årskostnader

13.3.1 Generelt

Årskostnadsberegningene er beregnet med følgende forutsetninger:

Kalkylerente:	6 %
Brukstid:	20 år
Parkeringsplasser:	205
Bruttoareal:	5 450 m ²

Kostnadsoverslaget er basert på priser pr. m² pr. hoveddel. Forvaltnings- og driftskostnader er hentet fra HolteProsjektets FDV-nøkkel og er basert på kaldt lager. Drift og vedlikeholdskostnadene er også hentet fra HolteProsjektets FDV-nøkkel, men er basert på kostnadene ved de enkelte bygningsdeler.

Festeavgift/tomtepris er ikke tatt med i vurderingen.

13.3.2 Forvaltning

Det antas at begge alternativene får samme utgifter til forvaltning. Med forvaltning menes skatter og avgifter, forsikringer og administrasjon. Det tas utgangspunkt i forvaltningskostnadene for kaldt lager i HolteProsjektets FDV-nøkkel.

Det er benyttet tallene for høye kostnader for skatter og avgifter og forsikringer, mens det for administrasjon er lagt lave kostnader til grunn for de videre beregninger.

13.3.3 Drift

Kostnader for driften av parkeringshuset er også antatt å være lik for de to alternativene, og også her er det tatt utgangspunkt i kostnadene for drift av kaldt lager i HolteProsjektets FDV-nøkkel.

For drift og ettersyn er det tatt utgangspunkt i en middels årlig kostnad, mens det for renhold tas utgangspunkt i lave kostnader, da det antas at parkeringshuset ikke renholdes på samme måte som et kaldt lager.

13.3.4 Vedlikehold

Vedlikeholdet er begrenset til å omfatte beising av spiler, fasadesøyler og fasadebjelker, maling av innvendige stålsøyler, samt periodevis utskifting av materialer.

Trespilene på fasaden er brannimpregnert og overflatebehandlet og antas vedlikeholdt og beiset hvert 8. år. Ytterveggene i stål/betongbygget består av korrugerte stålplater som males med samme intervaller som trespilene. Det forventes ingen utskifting av ytterveggene i levetiden.

De innvendige søylene er forventet å stå ubehandlet gjennom hele levetiden, mens søyler og bjelker i fasaden må behandles hvert 8. år. Dette gjelder for begge bygningsalternativene.

Kostnader hentet fra HolteProsjektets FDV-nøkkel:

- Beising limtrebjelker, 8 års intervaller med 2 strøk: kr 120.000 per gang
- Maling av stål, 8 års intervaller med 2 strøk: kr 130.000 per gang

Utskiftninger antatt utfra kvalitative vurderinger av alternativene

- Skadeutbedring av limtre: 10.000 kr per 3 år over en 20 års periode
- Skadeutbedring av ståldetaljer: 5.000 kr per 3 år over en 20 års periode

13.3.5 Beregning av årskostnad og levetidskostnad

En kalkylerente på 6 % gir en annuitetsfaktor på 0,0872.

Tabell 13.1 - Årskostnadsoppstilling for parkeringshus i tre

Kostnadstype	Nåverdi		Årskostnad			
	Totalt	pr. park.plass	Ann.faktor b	pr. park.plass	Totalt	%
Post 1. Kapitalkostnad	17 380 000	84 780	0,0872	7 392	1 515 000	74,9
Post 2. Forvaltningskostnader	3 807 000	18 571	0,0872	1 619	332 000	16,4
Post 3. Driftskostnader	1 884 000	9 190	0,0872	801	164 000	8,1
Post 4. Vedlikehold	146 000	712	0,0872	62	13 000	0,6
Levetidskostnad	23 217 000	113 253	0,0872	9 874	2 024 000	100

Tabell 13.2 - Årskostnadsoppstilling for parkeringshus i stål/betong

Kostnadstype	Nåverdi		Årskostnad			
	Totalt	pr park.plass	Ann. faktor b	pr. park.plass	Totalt	%
Post 1. Kapitalkostnad	16 940 000	82 634	0,0872	7 204	1 477 000	74,4
Post 2. Forvaltningskostnader	3 807 000	18 571	0,0872	1 619	332 000	16,7
Post 3. Driftskostnader	1 884 000	9 190	0,0872	801	164 000	8,3
Post 4. Vedlikehold	136 000	663	0,0872	58	12 000	0,6
Levetidskostnad	22 767 000	111054	0,0872	9 682	1 985 000	100

I nåverdi ligger parkeringshus i tre ca. 500.000 kroner over et tradisjonelt parkeringshus i stål og betong. Forskjellen i årskostnader pr. parkeringsplass er litt under kr 200. Disse forskjellene er innenfor usikkerheten i beregningene, og kostnadene for de to alternativer anses på dette stadium for like.

Etter endt levetid på tomten vil restverdien av materialene være ganske ulike på grunn av forskjellige materialtyper i parkeringshuset og hvordan parkeringshuset rives eller demonteres. Det er derfor valgt å utføre beregninger hvor antatt restverdi er medtatt.

13.4. Restverdi

13.4.1 Generelt

Ved demontering vil materialene som kan brukes om igjen ha større verdi enn materialer som knuses eller oppflises etter riving.

13.4.2 Gjenbruk

Parkeringshuset i tre er planlagt slik at det vil kunne demonteres etter endt bruk på tomten. Med henvisning til Kap. 12 er følgende kostnader for riving og demontering funnet for dette alternativet:

Tabell 13.3 - Parkeringshus i tre, restverdi for gjenbruk

Demontering av bæresystem (inkl. skjæring av asfalt og takbelegg)	1 500 000
Demontering av fasadeelementer	200 000
Riving av utstyr, trapperom, heissjakt osv	400 000
Riving av fundamenter, bortkjøring, planering osv.	400 000
Kostnad for demontering/riving	2 500 000
Besparelse ved bygging på nytt sted	7 000 000
Restverdi for gjenbruk	4 500 000

Etter endt levetid har trematerialene et energipotensiale på 1 000 MWh, et potensiale som vil ha en økonomisk verdi i fremtiden.

Dersom stål/betongalternativet blir bygget med hensyn på eventuell flytting, vil det også her kunne regnes med en restverdi lik materialverdien i det demonterte bygget, anslått til omkring 7 mill. kroner. Det vil imidlertid bli dyrere å demontere ettersom elementene i bygget er tyngre enn for trealternativet. Utfra skjønn er det vurdert at demontering av bæresystemet vil være omkring 30 % dyrere. Det vurderes også at demontering av fasadeelementene vil være rundt 50 % dyrere.

Følgende kostnader er vurdert for stål/betong alternativet med utgangspunkt i HolteProsjektets kalkulasjons- og FDV-nøkkel:

Tabell 13.4 - Stål/betong, restverdi for gjenbruk

Demontering av bæresystem (inkl. skjæring av asfalt og takbelegg)	2 000 000
Demontering av fasadeelementer	300 000
Riving av utstyr, trapperom, heissjakt osv.	400 000
Riving av fundamenter, bortkjøring, planering osv.	400 000
Kostnad for demontering/riving	3 100 000
Besparelse ved bygging på nytt sted	7 000 000
Restverdi for gjenbruk	3 900 000

13.4.3 Riving

For alternativet stål/betong omtaler *Nasjonal handlingsplan for bygg og anleggsavfall* noen svenske forsøk på ombruk av elementer. I Norge er dette enda ikke prøvd. Dette alternativet er derfor ikke det mest sannsynlige. Handlingsplanen antyder at det mest naturlige bruksområdet er resirkulering av knust betong som fyllmasse eller som råmateriale i ny betong. Målsetningen er å gjenvinne 70 % av alt generert betong- og teglavfall, og det antas at dette også vil være alternativet for parkeringshus i stål og betong.

Rivingskostnadene for de to alternativene antas å avvike mindre fra hverandre enn demonteringskostnadene. Dette skyldes at riving per i dag stiller et større krav til kildesortering, et krav som gjør at kostnadene ved selve rivingen blir høyere, men at kostnaden for å kvitte seg med avfallet blir lavere. Det vurderes også at parkeringshusene ikke vil bli tatt ned ved maskinell riving hvor materialfraksjoner blandes, men at det vil foregå en mer eller mindre selektiv riving som på mange måter kan sammenlignes med en demontering. Da brorparten av materialene ikke skal gjenbrukes blir rivingen "råere" og kostnadene vil ikke være like høye som ved demontering for gjenbruk.

Det er vurdert at kostnadene ved riving vil ligge rundt 30 % lavere enn kostnaden for demontering. Da er også transport bort fra rivingssted tatt med i delkostnadene.

Tabell 13.5 - Riving av tre (data vurdert ut fra Byggforvaltningsblad 700.806)

Riving av bæresystem	1 050 000
Riving av fasadeelementer	140 000
Riving av utstyr, trapperom, heissjakt osv.	400 000
Riving av fundamenter, bortkjøring, planering osv.	400 000
Kostnad for demontering/riving	1 990 000
Gjenbruksverdi av enkelte deler	900 000
Restverdi	-1 090 000

Det antas at rundt 900 m³ av trevirket i parkeringshuset, som tilsvarer omkring 90 % av massivtrevirket og limtrevirket, kan gjenbrukes som massivtre, limtre eller som skurlast til en verdi av kr 1.000,-/m³. For resten antas at det kan leveres ferdig oppfliset til godkjent forbrenningsanlegg uten videre kostnad.

Tabell 13.6 - Stål/betong ved riving (data vurdert ut fra Byggforvaltningsblad 700.806)

Riving av bæresystem	1 400 000
Riving av fasadeelementer	210 000
Riving av utstyr, trapperom, heissjakt osv.	400 000
Riving av fundamenter, bortkjøring, planering osv.	400 000
Kostnad for demontering/riving	2 410 000
Besparelse	70 000
Restverdi	- 2 340 000

Det antas at det kun er stål i bygget som har en verdi, og denne ligger i dag på kr 335,- pr. tonn fritt levert med bil, Ref. /10/. Om det regnes at stål/betongalternativet består av 200 tonn stål, gir dette en pris på

ca. 70.000 kroner. Det antas at det ikke vil oppnås noen godtgjørelse for betongen selv om den knuses og anvendes som pukk til veibygging, eller til fyllmasse rundt nybygg. Det antas at betongen leveres gratis til gjenvinningsanleggene.

13.5. Årskostnad medregnet restverdier

Inkluderes restverdiene i beregningene for de årlig kostnadene, fås følgende resultater:

Tabell 13.7 - Årskostnad trealternativet ved demontering og gjenbruk, medregnet restverdi av materialene

Kostnadstype	Nåverdi		Årskostnad		
	Totalt	pr. park.plass	Ann. faktor b	pr. park.plass	Totalt
Post 1. Kapitalkostnad	17 380 000	84 780	0,0872	7 392	1 515 000
Post 2. Forvaltningskostnader	3 807 000	18 571	0,0872	1 619	332 000
Post 3. Driftskostnader	1 884 000	9 190	0,0872	801	164 000
Post 4. Vedlikehold	146 000	712	0,0872	62	13 000
Post 5. Restverdi	-4 500 000	-21 951	0,0872	-1914	-392 000
Levetidskostnader	18 717 000	91 302	0,0872	7 960	1 632 000

Tabell 13.8 - Årskostnad stål/betongalternativet ved demontering og gjenbruk, medregnet restverdi av materialene

Kostnadstype	Nåverdi		Årskostnad		
	Totalt	pr. park.plass	Ann. faktor b	pr. park.plass	Totalt
Post 1. Kapitalkostnad	16 940 000	82 634	0,0872	7 204	1 477 000
Post 2. Forvaltningskostnader	3 807 000	18 571	0,0872	1 619	332 000
Post 3. Driftskostnader	1 884 000	9 190	0,0872	801	164 000
Post 4. Vedlikehold	136 000	663	0,0872	58	12 000
Post 5. Restverdi	-3 900 000	-19 024	0,0872	-1 659	-340 000
Levetidskostnad	18 867 000	92 034	0,0872	8 023	1 645 000

Tabell 13.9 – Årskostnad, riving av trealternativet medregnet restverdier

Kostnadstype	Nåverdi		Årskostnad		
	Totalt	pr. park.plass	Ann. faktor b	pr. park.plass	Totalt
Post 1. Kapitalkostnad	17 380 000	84 780	0,0872	7 392	1 515 000
Post 2. Forvaltningskostnader	3 807 000	18 571	0,0872	1 619	332 000
Post 3. Driftskostnader	1 884 000	9 190	0,0872	801	164 000
Post 4. Vedlikehold	146 000	712	0,0872	62	13 000
Post 5. Restverdi	1 090 000	5 317	0,0872	464	95 000
Levetidskostnader	24 307 000	118 570	0,0872	10 338	2 119 000

Tabell 13.10 – Årskostnad, riving av stål/betongalternativet medregnet restverdier

Kostnadstype	Nåverdi		Årskostnad		
	Totalt	pr park.plass	Ann. Faktor	pr. park.plass	Totalt
Post 1. Kapitalkostnad	16 940 000	82 634	0,0872	7 204	1 477 000
Post 2. Forvaltningskostnader	3 807 000	18 571	0,0872	1 619	332 000
Post 3. Driftskostnader	1 884 000	9 190	0,0872	801	164 000
Post 4. Vedlikehold	136 000	663	0,0872	58	12 000
Post 5. Restverdi	2 340 000	11 415	0,0872	995	204 000
Levetidskostnad	25 107 000	122 473	0,0872	10 679	2 189 000

13.6. Konklusjon

Beregningene viser at årskostnadene for det konkrete parkeringshuset i tre er kr 9.874,- pr. parkeringsplass, mot tilsvarende kostnad på kr 9.682,- for stål/betongalternativet når det ikke tas med kostnader til riving og heller ikke tas hensyn til restverdi av rivingsmaterialene. Denne forskjellen er imidlertid innenfor den nøyaktighetsmarginen vurderingene har.

Tas restverdi med i beregningene, gir beregningene over at alternativet i tre kommer noe gunstigere ut. Noe av grunnlaget for disse beregningene er basert på skjønn og er derfor beheftet med usikkerheter. På den andre siden er ikke selve flytteprosessen tatt med, og grunnet den lettere konstruksjonen er det forventet at denne vil være billigere for trealternativet. Ved gjenbruk er det heller ikke tatt med at investeringskostnadene for stål/betongalternativet sannsynligvis blir noe høyere når det skal tilpasses enkel demontering og gjenbruk.

På bakgrunn av beregningene og de kvalitative vurderingene foran, konkluderes det med at tre som hovedmateriale for det aktuelle parkeringshus vil være kostnadmessig likeverdig med eller bedre enn et tilsvarende bygg i stål/betong når alle livssyklus-kostnader tas med.

14. Miljøvurdering

14.1. Generelt

Det finnes en rekke referanser som tar for seg ulike miljøaspekter for konstruksjoner i tre kontra eksempelvis stål og betong. Resultatene fra tre av disse summeres opp innledningsvis.

Erlandsson, Ref. /11/ vurderte alternative bæresystem til prosjektet Vetenskapsstaden i Stockholm. Alternativene som er vurdert er massivtreelementer, plassbygd bindingsverk og plaststøpt betong. Studien omfatter vugge til byggeplass. De potensielle miljøeffektene er dannelse av bakkenært ozon (POCP), overgjødning (NP), forsuring (AP) og bidrag til drivhuseffekt (GWP).

Studien konkluderer med følgende:

- De trebaserte alternativene kommer bedre ut enn det betongbaserte innen bidrag til drivhuseffekt, overgjødning og forsuring. Forskjellen mellom de to trebaserte er ikke signifikant.
- Det potensielle bidraget til dannelse av bakkenært ozon (POCP) er høyest for massivtre.

Kristensen, Ref. /1/ gjennomførte en undersøkelse av energi og miljøeffektiviteten av massive treelementer i forbindelse med rapporten "Bygningsselementer av massivtre". Det ble her konkludert med at bygging av massive trekonstruksjoner vil bidra til å redusere klimaeffektene, gi en dominerende bruk av fornybare materialressurser og en bedre utnyttelse av virke som ellers ikke ville ha blitt utnyttet. Det konkluderes også med at massivtreelementene har en lav egenvekt som bidrar til en større materialeffektivitet ved å muliggjøre mindre omfattende fundamentering.

Pousette, Ref. /12/ viser i sin LCA-undersøkelse av to trebroer at de største bidragene til økt utslipp av CO₂ ligger på transport (27 - 30 %), på stålbeslagene (22 - 32 %) mens limtrebruken kommer like etter (20 - 28 %). For NO_x utslippene er det limtre som kommer dårligst ut grunnet treets innhold av nitrogen og dårlig forbrenning. Bidraget fra ståldetaljene er her meget små. Utslippene av SO₂ følger i stor grad NO_x utslippene, men med noe større bidrag fra stål og sink-detaljene.

Den foreliggende miljøvurderingen for parkeringshuset er en screening livssyklusvurdering som følger ISO 14040 i en vugge til fabrikkportbetragtning. ISO 14040 er standarden som omhandler prinsipper og rammeverk for livssyklusvurderinger (Life Cycle Assessment, LCA), og en screening livssyklusvurdering betyr i dette tilfellet at kun 4 valgte miljøeffekter vil bli studert. En screening LCA er en relativt hurtig og oversiktlig kartlegning og vurdering av et produkts livssyklus. Screening baseres normalt hovedsakelig på eksisterende, offentlig tilgjengelige data. En screening er ofte en forløper for en full LCA.

Formålet med vurderingen er å sammenligne miljøeffektene av parkeringshuset i tre med et tilsvarende bygg utført i stål/betong.

Energieffektivitet er ikke noen faktor i dette prosjektet ettersom det er en åpen bygning.

14.2. Avgrensing

Arbeidet er avgrenset ved å begrense omfanget til det som er vesentlig for miljøvurderingens formål.

Følgende aktiviteter inngår i vurderingen:

- Produksjon og ressursuttak for samtlige materialer i inngående byggedeler

Mens følgende aktiviteter ikke er tatt med:

- Transport av alle materialer som inngår i produktet
- Energianvendelse på byggeplass
- Miljøpåvirkning ved anvendelse av P-huset
- Vedlikehold
- Riving av P-huset

Følgende materialer inngår i vurderingen:

- Ribbedekke
- Massivtreelementer
- Bærende konstruksjon
- Fundament (armering, betong og polystyren)
- Asfalt

14.3. Metodikk

Metodikken for livssyklusvurderingen finnes beskrevet i rapporten "Methodology for Environmental Assessment of Wood-Based Products", se Ref. /7/. Denne metoden benyttes også ved beregning av miljøprofilen i NTT's miljødeklarasjoner og er basert på et materialnøytralt konsept.

Resultatet er presentert ved å sammenstille normaliserte bidrag til utvalgte miljøeffektkategorier. Normaliseringen gjøres ved å veie den bygningsdel som bidrar mest til den valgte effektkategori mot de andre bygningsdeler.

14.4. Miljøpåvirkningskategorier

Det er valgt å se på fire ulike miljøpåvirkningskategorier. Ut fra tidligere erfaringer og datatilgjengelighet velges det å se på drivhuseffekten, forsurening, eutrofiering og bakkenært ozon. Effektvurderingen er basert på data fra CML, Centre for Environmental Science - Leiden University, som i 1992 utviklet en metode for livssyklusvurderinger. Effektvurderingene er en blanding av data fra 1992 og 2001.

14.4.1 Drivhuseffekten

Når sollyset treffer jorden reflekteres umiddelbart noe tilbake til verdensrommet, og noe reflekteres tilbake noe senere som varme. En del av denne varmen fanges opp av gasser i atmosfæren og reflekteres tilbake. Det er denne effekten som kalles drivhuseffekten.

De viktigste naturlige drivhusgasser er karbondioksid og vann.

14.4.2 Bakkenært ozon

Bakkenært ozon, også kalt fotooksidanter og fotokjemisk ozon, dannes gjennom en reaksjon mellom flyktige organiske forbindelser (VOC) og nitrogenoksider (NOx) under innvirkning av sollys. Det er biltrafikk og bruk av løsemidler som er blant de største hovedkildene til utslippene. Blant de negative effekter ved bakkenært ozon er helsemessige effekter som pustebesvær, øyeirritasjoner. I naturen påvirker ozon vekstproduksjonen negativt hvilket innebærer redusert vekst og avling.

14.4.3 Eutrofiering

Dette kalles også overgjødning. Det oppstår som følge av øket tilføring av næringssalter som fosfater og nitrater. Fosfor og nitrogen er essensielle for alle vekster, men for store bidrag og isolerte steder kan gi skadelige effekter. I hav og vann kan eutrofiering medføre økt algevekst som igjen fører til oksygenfritt og dermed dødt bunnmiljø.

14.4.4 Forsuring

Tilførsler av svoveldioksider (SO₂), nitrogenoksider (NOx) og ammonium (NH₄) forsuret vassdrag og skader fiskebestander og planteliv.

14.5. Produktsystemet

Produktsystemet kan deles inn i 5 forskjellige faser: Materialfasen, produksjonsfasen, forbruksfasen, gjenbruksfasen og bortskaffelsesfasen.

I materialfasen inngår fremstilling av de elementer som går med til oppføring av parkeringshuset. Produksjonsfasen, som er oppføringen av bygget, og bruksfasen tas ikke med i denne screeningen. I gjenbruksfasen vil en undersøkelse av miljøeffektene av gjenbruk av systemet bli gjennomgått kvalitativt, spesielt med fokus på transport. I den avsluttende bortskaffelsesfasen tas det kun høyde for brennverdien av konstruksjonens bygningsdeler.

Når det gjelder den geografiske avgrensning så vurderes det at alle trematerialer kommer fra Norge, mens det for ståldetaljer antas at disse kommer fra Tyskland.

14.6. Miljøvurdering av parkeringshuset i tre

Det er blitt foretatt en vugge til port screening av parkeringshuset. Det er beregnet følgende materialmengder i bygget:

Tabell 14.1 - Materialbruk i parkeringshuset

Material/produkt	Ribbedekke	Massivtre	Hatteprofiler	Konstruksjon	Fundamentering	Asfalt	Totalt
Tre ubehandlet (m ³)		171					171
Limtre (m ³)	629			193			822
Stål (kg)	4 208	1 515	60 490	738	4 205		71 157
Betong (kg)					250 317		250 317
Singel (kg)						425 170	425 170
Ekstrudert PS (kg)					646		646
Bitumen (kg)						27 139	27 139

Resultatene fra analysen er normalisert mot det høyeste bidraget i hver av effektkategoriene for lettere å sammenligne resultatene. Her er 0 best og 1 er dårligst.

Tabell 14.2 - Normaliserte resultater av de valgte miljøeffekter

	Fundament	Annet limtre	Ståldetaljer	Massivtre	Ribbedekke	Asfalt dekke
Global oppvarming (CO ₂ ekv.)	0,03	0,05	1,00	0,04	0,20	0,12
Forsuring (SO ₂ ekv.)	0,10	0,11	1,00	0,11	0,48	0,15
Eutrofiering (PO ₄ ekv.)	0,05	0,29	0,50	0,19	1,00	0,20
Bakkenært ozon (POCP)	0,04	0,26	0,39	0,22	1,00	0,05

Resultatene viser at selv med de relativt små mengdene stål kommer dette materialet dårligst ut både for global oppvarming og forsuring. For forsuring er forskjellen mindre, men allikevel har stål omkring 2 ganger bidraget til trematerialene. Trematerialene, anført av ribbedekket, har det største bidraget til eutrofiering og dannelse av bakkenært ozon.

Tre er et naturlig materiale som omdanner CO₂ til karbonforbindelser under vekstperioden. Ved å benytte tre som byggemateriale oppnås dermed en opplagring av atmosfærisk CO₂ over en lengre periode som kan bidra til en reduksjon av drivhusgasser i atmosfæren.

Det er i disse beregningene ikke tatt med binding av karbon i treet. Som en referanse kan det imidlertid opplyses at i parkeringshuset er det bundet karbon tilsvarende ca. 600 tonn CO₂, Ref. /13/. Til sammenligning slippes det ved produksjon av bygningsdelene i parkeringshuset ut ca. 200 tonn fossilt CO₂, hvor det ikke er inkludert transport til og energibruk på byggeplass.

14.7. Tre sammenlignet med stål og betong

Det er gjort en sammenligning mellom tre og betong i dekket i parkeringshuset. Sammenligningen ble gjort uten asfaltdekke eller andre hjelpematerialer, og karakteriseringen fra CML-metoden ble benyttet.

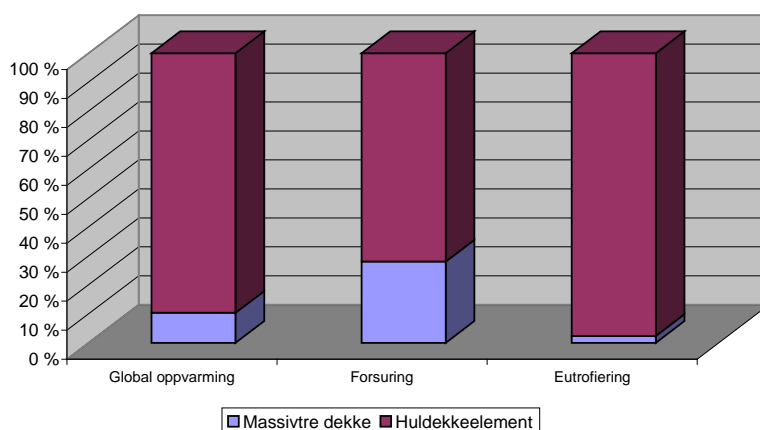
Det ble antatt at dekket i et parkeringshus i stål/betong vil bli utført med hulldekkeelementer. Selv om det sannsynligvis er for tynt for de aktuelle spennvidder, ble det valgt et element fra Spenncon, Ref. /14/ med tykkelse 265 mm og som veier 415 kg/m². For dette elementet foreligger det miljødata.

Parkeringsdekket i tre veier i gjennomsnitt 84 kg/m², dvs. ca. 1/5 av vekten til betongdekket. Totalt blir det for 4 540 m² parkeringsdekke følgende materialmengder:

Tabell 14.3 - Total vekt av dekke i betong og tre

Materiale	Mengde
Betong	1 885 tonn
Massivtre	381 tonn (ved 470 kg/m ³)

En effektvurdering av de ulike vugge-til-port utslippene for dekkenes inngangsmaterialer avslører følgende miljøeffekter innenfor de valgte effektkategorier global oppvarming, eutrofiering og forsuring:



Figur 14.1 – Fordeling av belastningene til de valgte effektkategorier

Av figuren sees at bidraget til global oppvarming, forsuring og eutrofiering (overgjødning) er langt større for hulldekkeelementet enn for massivtredekket.

Bidraget til dannelse av fotokjemisk ozon er unnlatt i denne undersøkelsen, grunnet dårlig dokumentasjon for betongelementet på denne miljøeffektkategorien. Ut fra tidligere erfaringer vurderes det imidlertid at det for denne kategorien vil være størst utslipp fra produksjon av treelementene. Dette bidraget kommer i første rekke fra dannelsen av hydrokarboner i sagbrukenes fyringsanlegg.

Vekten har mye å si for energibruken ved transport og på byggeplassen. Om det antas at samme dekkeareal går på hvert lass som skal transporteres, blir utslippene av bl.a. CO₂ høyere ved tyngre materialer. Pousette, Ref. /12/ viser at bidraget fra transport utgjør en stor del av det totale bidraget til flere av de valgte miljøeffektkategorier for trebroer. Det antas derfor at forskjellen i bidragene fra transport av betong- og treelementene vil bli store, og bidragene er størst for betongelementene grunnet den høye vekten. På grunn av manglene transportdata er det imidlertid ikke mulig å gjøre beregninger på dette p.t.

14.8. Flytting

Flytting av et parkeringshus i tre vil pga. den lette konstruksjonen bli mer miljøvennlig enn flytting av et tyngre parkeringshus i stål og betong. Begge alternativene vil ved riktig konstruksjonsløsning kunne flyttes ved enkle metoder, men ved lettere konstruksjoner blir transportbidraget mindre. Ved demontering og oppføring på annen tomt vil energiforbruket på byggeplass for et lett bygg bli mindre, og det vil kreves enklere fundamentering enn ved tyngre konstruksjoner.

14.9. Riving av parkeringshus i tre

Ved riving vil flere av materialene kunne gjenvinnes eller gjenbrukes. Elementene vil kunne brukes om igjen til egnede konstruksjoner.

Asfalten på dekkene vil kunne freses av og gjenvinnes til ny asfalt. Hatteprofilene kan enten gjenbrukes eller gjenvinnes. Det samme gjelder stagene som binder sammen treelementene.

Alle materialene i tre som ikke er behandlet med CCA-impregnert materialer vil kunne brennes i godkjente forbrenningsanlegg. Treverket i parkeringshuset inneholder energi som kan benyttes til energiformål. Det antas at treverket i parkeringshuset har en varmeverdi på 1 MWh/m³. Energipotensialet i treverket ligger da på 1000 MWh tilsvarende samme mengde energi som 40 el-oppvarmede villaer forbruker på ett år. Ved forbrenning dannes CO₂, men siden tre er CO₂-nøytralt, slippes det ikke ut mer CO₂ til atmosfæren ved forbrenning enn om det skulle ha gjennomgått en naturlig nedbryting i naturen, Ref. /13/.

14.10. Konklusjon

Å bygge parkeringshus i tre synes å gi store fordeler om en ser isolert på miljøbelastningen. Vurderingen som er gjort her er imidlertid noe amputert da verken transport, energiforbruk på byggeplass, vedlikehold eller energi ved riving er medtatt, som alle forventes å favorisere trealternativet.

De identifiserte fordelene ligger primært i mindre utslipp av klimagasser, samt binding av karbon i treverket.

Et parkeringshus i tre er lettere enn eksempelvis et tilsvarende bygg i stål/betong, noe som vil føre til mindre energibehov under transport og

montasje. Dette er viktig både ved oppføring, riving og eventuell fjerning. Lette konstruksjoner medfører også lettere og enklere fundamentering.

Tre inneholder dessuten store energimengder som kan utnyttes etter endt bruk.

15. Referanser

1. Kristensen, T.: "Bygningsselementer av massivtre", Rapport 45, NTI 1999
2. Ohlsson, S.: "Svikt, svängningar og stivhet hos bjälklag, Dimensjoneringsmetoder, Byggeforskningsrådet, Stockholm 1984.
3. "Recommended Guide for the Design of Stress Laminated Timber Plate Bridge Decks", Roads and Traffic Authority, New South Wales, 1995
4. Jutila, A.: "Rules concerning the design of Nordic timber bridges", Nordic Timber Bridge Project, Nordic Wood, 1996
5. Tommola, J. et al.: "Design of Wooden Arch Bridges", Nordic Timber Bridge Project, Nordic Wood, 1996
6. Rainer, J.H. et al.: "Dynamic loading and response of foot bridges", Can. J. Civ. Eng. Vol. 15, 1988
7. Svanæs, J. og Kristensen, T.: "Parkeringshus i tre", NTI-rapport nr. 370040, Mai 2002
8. Stenstad, V.: "Parkeringshus med bærende trekonstruksjoner", Rapport O 10253, Mai 2001
9. HolteProsjekt Kalkulasjonsnøkkelen 2001 og HolteProsjekt FDV-nøkkel - Verktøy for bygningsforvaltning 1999
10. Kretsløpet 5, 2001 - Et fagblad for avfallshåndtering og gjenvinning utgitt av Norsas AS
11. Erlandsson, M.: "Översiktlig LCA för tre stommelalternativ för byggander i Vetenskapsstaden, 1997
12. Pousette, A.: "Livscykelanalys av två träbroar", Träteknik 1998
13. Beyer, Hagggarsson, Johansson: "Miljöstyrd produktutveckling i träindustrin", Träteknik 2001
14. Spenncon MVD - MVD Spenncon 1999, STØ 1999

16. Prosjektforutsetninger - Kravspesifikasjon

Det finnes ikke egne normer for parkeringshus. Noen krav gis imidlertid i Statens vegvesens Håndbok 017 og i NS 3491-1 Prosjektering av konstruksjoner. Dimensjonerende laster.

Basert på dette og innhentet informasjon fra eiere/designere av parkeringshus er følgende kriterier valgt:

Netto etasjehøyde:	Min. 2,20 m, helst 2,30 m (høyde 2,20 m gir fri kjørehøyde 2,10 m) Min. høyde gjelder under skilt, som bygger 20-25 cm
Parkeringsplasser:	Lengde 5,0 m Bredde 2,5 m
Fritt spenn:	16 m x 7,5 m, evt. 17 m x 7,5 m, se nedenfor
Kjørevei:	Bredde 6,0 m (Dette gir $2 \times 5 + 6 = 16$ m fritt spenn) Hvis mye korttidsparkering bør bredden økes til 7,0 m, og fritt spenn økes til 17,0 m.
Senteravstand søyler:	Konsistent med ovennevnte: 16 m (evt. 17 m) x 7,5 m
Ramper:	Ønsket begrensning på stigning er 1:10, men dette avhenger av flere forhold. Det er brukt 1:8 for enetasjes ramper som hovedsakelig er rette, men med begynnende krumning oppe og nede. Bredde på rette enfelts ramper: 3,0 m med $2 \times 0,25$ m skuldre. Kan muligens reduseres med 0,5 m. Rampe kan være: - rotunde, innvendig eller utvendig Enveis rotunde med diameter: 18,0 m - lutende halvplan
Lufting/sprinkler:	Fasade må ha minst 1/3 åpning for utlufting for å unngå krav til sprinkler/ventilasjon. Under bakken er det krav til sprinkler/ventilasjon.
Brannkrav:	Hovedbæresystem og dekker utføres med brannmotstand R60.
Støy:	Ingen spesielle krav.
Tetthet:	Dekkene må være tette; drypp må unngås.

- Fall, avrenning: Det velges fall 1:100 mot midten av bygget. I lavbrekk legges punktvis nedløp. Ved bunn av ramper legges renner i dekket.
- Tak: I byområder vil det være ønskelig med tak; på grunn av hensyn til utseende ovenfra og rent praktisk mht. snøbrøyting.
- Belastninger: Nyttelast: 2,0 kN/m².
Påkjørsellast, regnet som ulykkeslast:
50 kN langs kjøreretningen
25 kN på tvers av kjøreretningen
- Nedbøyninger/Svingninger: Det er ikke spesielle krav utover vanlige krav for bygningskonstruksjoner. For svingninger er det valgt å oppfylle krav til akselerasjoner gitt i Statens vegvesen HB 185 for gangbroer.
- Grunnforhold: Det forutsettes middels gode grunnforhold, for eksempel stedlig morenemasser eller tilkjørte telefrie masser som grus og stein, som tillater sålefundamentering.
- Diverse: Betalingsautomater: To parallelt for inn- og utkjøring.
- Forskrifter/regelverk: Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven 1997, Kommunal og arbeidsdepartementet
- REN Veiledning til Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven 1997 Statens bygningstekniske etat
- NS3490. Prosjektering av konstruksjoner. Krav til pålitelighet. 1. utgave juni 1999
- NS 3491. Prosjektering av konstruksjoner. Dimensjonerende laster.
Del 1: Egenlast og nyttelast. 1. utgave desember 1998 m/Rettelsesblad A1
Del 7: Ulykkeslaster. 1. utgave november 2000
- NS3470-1. Prosjektering av trekonstruksjoner. Beregnings- og konstruksjonsregler. Del 1: Allmenne regler, 5. utg. Juli 1999 m/Rettelsesblad AC datert Juli 2000
- NS 3472. Prosjektering av stålkonstruksjoner. Beregning og dimensjonering, 2. utg., 2. opplag 1985

NS 3473. Prosjektering av betongkonstruksjoner.
Beregnings- og konstruksjonsregler, 5. utg. Nov. 1998
m/Rettelsesblad AC datert Nov. 1999

Statens vegvesens Håndbok 017: Lastforskrifter for
broer og ferjekaier i det offentlige vegnett 1995

Statens vegvesens Håndbok 185: Prosjekteringsregler
for bruer, Mars 1996 m/ Rettelser mm. Versjon 98-1

17. Tegninger

