

# CO<sub>2</sub> reduktion i Næstved Kommune

Digital registrering og CO<sub>2</sub> reduktion i Næstved Kommune del 2 af 2

*Et projekt under "Bæredygtig Grøn Byudvikling II"*

Morten Lolk, Adjunkt

Anders Larsen, Adjunkt

12. december 2022



# Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Indledning</b> .....	<b>3</b>
1.1	Indledning .....	3
1.2	Problemformulering.....	3
1.3	Afgrænsning.....	4
1.4	Opbygning.....	4
<b>2</b>	<b>Literature Review</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Metode</b> .....	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Analyse</b> .....	<b>8</b>
4.1	Scenarie 1, den eksisterende bygning.....	8
4.2	Scenarie 2, Ombygning af den eksisterende bygning. ....	9
4.3	Konstruktioner i den traditionelle model.....	9
4.4	Konstruktioner i den cirkulære metode .....	10
4.5	LCA-beregning af den traditionelle model.....	11
4.6	LCA-beregning af den cirkulære model .....	13
4.7	Scenarie 3, nedrivning og nybyg. ....	16
4.8	Konstruktioner i den traditionelle metode.....	16
4.9	Konstruktioner i den cirkulære metode .....	17
4.10	LCA-beregning af den traditionelle model.....	18
4.11	LCA-beregning af den cirkulære model .....	20
4.12	Del-konklusion på de fire scenarier.....	22
4.13	Genbrug af materialer .....	22
<b>5</b>	<b>Konklusion</b> .....	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>Referencer</b> .....	<b>26</b>

# 1 Introduktion

## 1.1 Indledning

Dette working paper er udarbejdet af Zealand – Sjællandserhvervsakademi på baggrund af et samarbejde med Ressourcecity og Næstved kommune, ifm. Projektet "Bæredygtig grøn byudvikling". <https://ressourcecity.dk/bgb/innovativ-energireduktion/>

Del 1 af 2 omhandler testforsøg af registreringsværktøjer, hvor resultatet har leveret data til forsøgene i dette working paper. Dette working paper er del 2 af 2.

Dags dato snakkes der meget om bæredygtighed, energioptimering, regeringens klimaaftale om CO<sub>2</sub> nedbringelse med 70% inden 2030 samt genanvendelse af materialer m.m.

Der eksisterer materialepas i forskellige formater samt en masse data om alverdens materialer og deres egenskaber. Data omkring udledningen af CO<sub>2</sub> iht. produktion, transport, miljøpåvirkninger inkl. konsekvensberegninger af enkelte materialers livstidscyklus.

Næstved kommune har en stor mængde eksisterende bygninger stående, som koster i drift og vedligeholdelse. Disse bygninger har brug for at blive energioptimeret, ombygget eller nedrevet i kommende år, hvis regeringens klimamål på de 70% reduktion skal imødekommes.

Men hvordan skal dette foregå og hvordan kan dette gøres, med mindst muligt CO<sub>2</sub> aftryk? Hvordan kan disse data sættes sammen og skabe en bæredygtig arbejdsproces for Næstved kommunes eksisterende bygningsmasse og samtidig skabe grundlag for, innovative løsningsforslag til SMV'er<sup>1</sup> i Næstved kommune?

## 1.2 Problemformulering

Kan eksisterende bygningsmasse i Næstved kommune ombygges og anvendes på en ny måde?

Hvorledes kan den eksisterende bygningsmasse anvendes under hensyntagen til udledning af CO<sub>2</sub> ækvivalenter

---

<sup>1</sup> Små og Mellemstore Virksomheder

### 1.3 Afgrænsning

For at afgrænse opgaven har vi valgt at fokusere på flg. inden for de tre scenarier:

#### **Scenarie 1:**

Eksisterende bygning bliver stående uberørt med de fornødne udskiftninger og vedligehold i en 50-årig betragtningsperiode.

**Scenarie 2:** Eksisterende bygning energirenoveres med vægt på to forskellige kriterier:

**Kriterie 1** (S2K1 traditionel): Der udføres efterisolering med mineraluld og ny teglvæg uden på den eksisterende beton. Taget nedtages til og med eksist. Betondæk og der efterisoleres med hårdisolering og der lægges ny tagpap på. Vinduer og yderdøre skiftes.

**Kriterie 2** (S2K1 Cirkulær): Der udføres efterisolering med træfiberisolering og ny teglvæg af genbrugsteglsten uden på den eksisterende beton. Tag udføres med bjælkespær lagt på eksist. Betondæk, 400 mm træfiberisolering som granulat, samt krydsfinér som underlag for to lag tagpap. (Analyser over en egnet tagbeklædning er blevet udført men to lag tagpap har vist sig at være den bedst egnede i enhver henseende). Vinduer og døre skiftes.

**Scenarie 3:** Nedrivning af eksisterende bygning og opførelse af ny, med to forskellige kriterier

**Kriterie 1** (S3K1 traditionel) ydervægge opføres som traditionelle hulmure med bagmur af beton, mineraluld og formur af tegl. Tagkonstruktion udføres som traditionelt fladtag med betondæk og hård isolering samt tagpap. Nye døre og vinduer og nyt terrændæk i beton med eps som isolering og kappilarbrydende lag.

**Kriterie 2** (S3K2 cirkulær) Bagmur udføres af CLT elementer med træfiber isolering samt ny formur af tegl. Tag udføres af dæk af CLT-elementer, med træfiberisolering. Der monteres bjælkespær på CLT elementet og afsluttes med krydsfinér og tagpap.

I forbindelse med at hele bygningen nedrives, vil vi forsøge at kigge på de eksisterende materialer der evt. ville kunne indgå i en ny kontekst. Dette vil blive forsøgt anskueliggjort vha. et materialepas. Der vil i denne forbindelse ikke blive taget højde for evt. kendte skadelige stoffer i bygningen.

### 1.4 Opbygning

Dette working paper er opbygget med en meget praksisnær tilgang. I afsnittet "Literature Review" vil vi afsøge eksisterende relevant litteratur, der henvender sig til genanvendelse af eksisterende bygningsmasse, som vil blive anvendt som beregningsgrundlag, i ny kontekst. Dette gøres mere tydeligt i afsnittet "Metode", hvor vi uddyber vores arbejdsgang og behandlingen af data.

Under "Analyse" afsnittet finder man vores bearbejdning og beregninger af indsamlet empiri/data. Her fokuseres der på GWP [kg CO<sub>2</sub> eq.] aftrykket i tidligere nævnte scenarier. Dette gøres via etableret skema, "Materialepas," som anvendes til registrering af eksisterende bygningsmasses data og beregnes i LCA-Byg. Der anvendes delkonklusioner i "Analyse" afsnittet. Dette working paper afrundes med en slutkonklusion ud fra "Analyse" afsnittet.

## 2 Literature Review

Inspirationen til denne rapport tager sit afsæt i et forskningsresultat fra SBI, hvor der kigges på en eksisterende bygnings klimaaftryk ved forskellige scenarier (Zimmermann, 2019). De forskellige scenarier og muligheder synes at kunne danne grundlag for en evt. fremtidig vurdering omkring bygningens videre brug og det var præcist det vi havde brug for, i forhold til den opgave vi skulle løse.

Et andet interessant aspekt der også vakte vores interesse var scenariet omkring cirkularitet, hvor der blev ind tænkt at der skulle bruges genbrugte betonelementer i en fremtidig bygning. Dette blev desværre ikke forklaret nærmere i rapporten, men der var en interessant, og en ikke særligt udforsket tilgang. Samtidig kunne vi se et potentiale i mere problematiske bygninger hvor der er en stor masse. Da vi efterfølgende blev kontaktet af Næstved Kommune med henblik på deltagelse i Bæredygtig Grøn Byudvikling del 2, hvor der var fokus på cirkularitet og klimapåvirkninger passede det rigtig godt sammen med de ting vi ønskede at undersøge.

Vi valgte ret hurtig at vi skulle arbejde med de mest traditionelle materialer der er i byggeriet, da dette ville give det mest realistiske billede. For at afsøge dette brugte vi SBI's rapport "klimapåvirkning fra 60 bygninger" (Zimmermann, Andersen, Kanafani, & Birgisdóttir, 2020). Her det klart at det murede byggeri er det mest traditionelle i Danmark. Derfor valgte vi også i vores analyse at arbejde med teglsten. Vores udgangspunkt er altså at vi skal tilpasse os uden nødvendigvis at ændre for meget.

Men vi blev også nødt til at kigge på alternativer til de tunge konstruktioner og her brugte vi Anvendelse af træ i byggeri (Rasmussen, 2020), fra Build. Her bliver vi klogere på den klimapåvirkning træ har og hvordan man kan variere brugen af træ, også målt på hvordan man bruger træ i vores nabolande. Samtidig brugte vi Materialepyramiden.dk (CINARK, 2019) til research af alternative materialer.

Da vi ret tidligt ville udforske klimapåvirkningen fra de forskellige scenarier har vi brugt Introduktion til LCA på bygninger (Birgisdóttir, 2015). Denne var virkelig nyttig da det var vigtigt for os at få sat os grundigt ind i analyseværktøjet.

Den anden del af projektet var at afsøge litteraturen for emner omkring genbrug af byggematerialer. Vi startede med Publikationen Cirkulær Nedrivning (Beeck et al., 2020), hvor vi fik skabt os et overblik over de mere komplekse juridiske komplikationer som der ligger i emnet. Dernæst afsøgte vi litteratur over materialepas, da det var udgangspunktet, at finde en mulig løsning på dette. Vi fandt Materiale og bygningspas fra teknologisk institut (Hauge, 2019). Her kredses der mest om nye bygningsdele og det har være svært at finde litteratur der omhandler eksisterende bygningsdele.

For at vurdere potentialet for eksisterende bygningsdeles klimapåvirkning har vi også brugt Livscyklusvurderinger for Cirkulære løsninger (Andersen, Rasmussen, Zimmermann, Kanafani, & Birgisdóttir, 2019). Her er der lavet GWP beregninger på forskelige bygningsdele

der er holdt op imod hinanden, fx genbrugsbeton vs konventionel beton. Disse beregninger har sparet os for en masse tid, da det hurtigt viste sig at området for lige præcis dette var af-søgt og at der ikke var nogle videre besparelser at hente. Dertil har vi udforsket "Genbrug af byggevarer"-SBI (SBI, 2015), hvor der bl.a. bliver sat fokus på problematikkerne i forhold til lovgivningen på området omkring genbrugsmaterialer.

Selve området omkring direkte genbrug af byggevarer er et område hvor der lige nu foregår en del forskning. Vi har valgt at kigge på Vandkunstens forskellige projekter (Vandkunsten Architects, 2017), og vi må konstatere at fantasien er god, men resultaterne er magre. Der er ikke noget litteratur, som vi har kunne opstøve, der hjælper på det billede af at, det er ikke muligt at udrulle genbrugte byggematerialer ud på en større skala.

Da der ikke var adgang til eksisterende tegninger af samlingsdetaljer, af vores case-bygning, måtte vi ty til Danskbyggeskik.dk. Her fandt vi bogen Montagebyggeri (Nissen, 1984), hvor vi kunne finde tegninger af tidstypiske betonelement tegninger.

### 3 Metode

Vi afsøger først eksisterende litteratur og arbejder der udført på bæredygtighedsområdet.

Her tages der udgangspunkt i Statens byggeforsknings instituts - Regitze Kjær Zimmermanns "Cirkulære bygninger" af 5. november 2019, som danner inspiration for analysearbejdet, ved at teste eksisterende forskning, på Næstved Kommunes bygninger.

Bygningsmassen er opmålt via forskellige scanningsværktøjer i del 1 – Digital registrering, hvor metoden har givet data til etablering af en 3D model, der danner grundlag for bygningens mængder. Disse mængder kobles sammen med eksisterende miljøscreening udleveret af Næstved Kommune og anvendes som beregningsgrundlag iht. de 7-10 scenarier der opstilles.

Dette gøres for at klarlægge den miljøpåvirkning, den eksisterende bygningsmasse besidder.

Her er fokus på GWP [kg CO<sub>2</sub> eq.]. Disse data bliver koblet sammen med bygningsmængder udtrukket af overleveret 3D model.

Ifm. nye tilførte materialer, anvendes Byggeriets materialepyramiden for definere GWP [kg CO<sub>2</sub> eq.] aftrykket for de enkelte materialer.

Der stilles 3 overordnet scenarier op, hvor der laves LCA beregninger ud fra 2-3 konstellationer pr. scenarie. Dette for at illustrere et billede af miljøpåvirkningerne de forskellige scenarier har ift. GWP [kg CO<sub>2</sub> eq.].

LCA-beregningerne foretages i programmet "LCA byg". Efterfølgende vil der laves et forsøg med, at køre 3D modellen ind i programmet "One Click LCA" for at teste dette programs funktion og nøjagtighed. Tanken er at sætte resultaterne op imod hinanden, for at validere "One Click LCA's" nøjagtighed.

## 4 Analyse

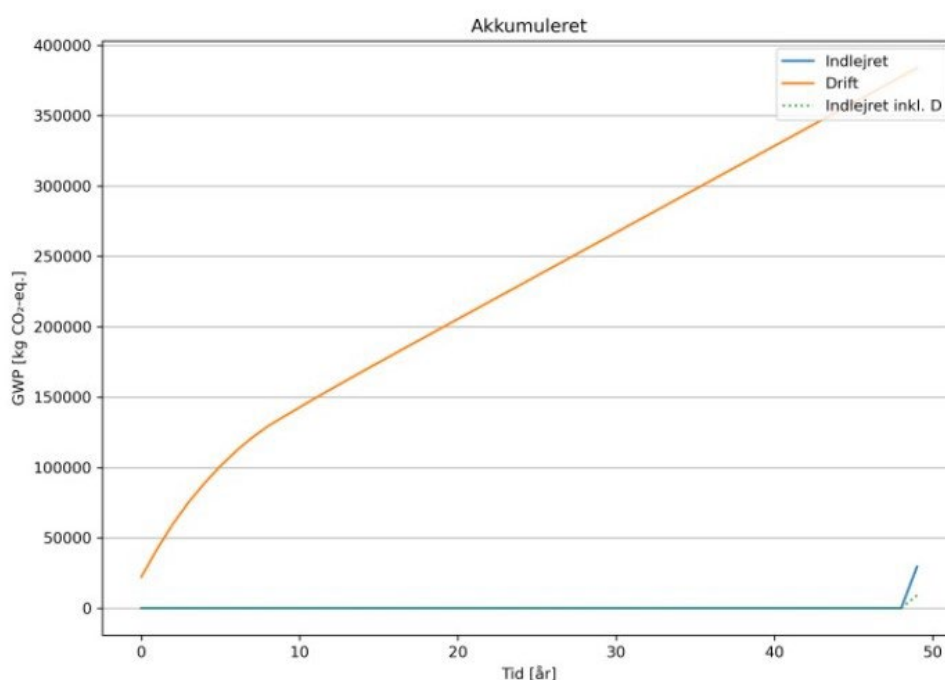
### 4.1 Scenarie 1, den eksisterende bygning

For at skabe et grundlag for det videre arbejde har vi i samarbejde med Næstved Kommune, valgt at ligge vores analyse i den eksisterende bygning på Tommerupvej 25, 4700 Næstved.

For at etablere et sammenligneligt grundlag vil vi indledningsvist udføre en livscyklusvurdering på den eksisterende bygning. Bygningen er i dag meget slidt og med utidssvarende konstruktioner.

Bygningen er fortrinsvist bygget af præfabrikerede betonelementer. Facaden er opført som en 245 mm sandwich element med en bagplade af 170 mm beton, et mellemlag af 20 mm polystyren og en forplade af 55 mm beton, beklædt med skærver.

En livscyklusvurdering af den eksisterende bygning vil vise driftsniveauet for bygningen på en 50 årige betragtningsperiode, samt nødvendig vedligehold og udskiftning.



Figur 1: Som det fremgår er driftsenergien for bygningen meget høj da den er meget ringe isoleret

Da bygningen er opført før energikrisen i 1970'erne er den isoleringsevne mildt sagt ringe. Det fremgår også af betragtningsperioden på de 50 år, hvor det selvsagt er meget energi der skal til for at opvarme bygningen.

Derfor er der ikke nogen motivation for at lade bygningen forblive som eksisterende, da energiforbruget er for stort. Dog udledes der ikke ret meget på selve bygningen, andet end til vedligehold.



#### 4.2 Scenarie 2, Ombygning af den eksisterende bygning.

Der er flere forskningsresultater der peger i retning af at den mest skånsomme løsning for eksisterende bygninger, set i forhold til CO<sub>2</sub> udledning, er at lade den eksisterende bygning blive stående og så renoverer den, fremfor at rive ned og bygge nyt (Zimmermann, 2019).

Derfor vil vi i dette afsnit undersøge CO<sub>2</sub> udledning ved forskellige scenarier, først ved at kigge på en traditionel energirenovering, med materialer der må anses for typiske i dansk byggeri (Zimmermann et al., 2020), dernæst på en mere cirkulær tilgang hvor vi kigger på materialer, der vil nedbringe CO<sub>2</sub> udledningen set i forhold til den typiske model.

#### 4.3 Konstruktioner i den traditionelle model

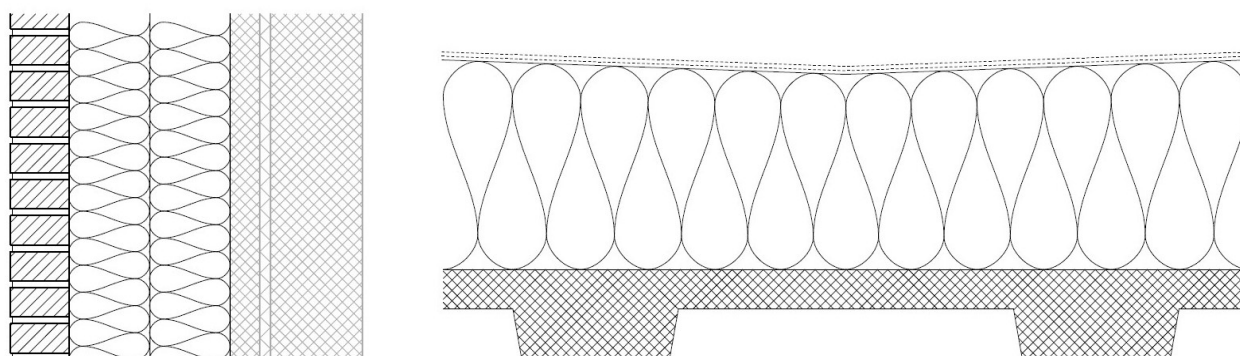
Den traditionelle model, i det efterfølgende kaldet S2K1, består af 300 mm mineraluld og en traditionel formur af 108 teglsten. Eksisterende vinduer udtages og bortskaffes og der monteres nye vinduer der rykkes frem i formur.

For at bære den nye formur etableres der et randfundament der består af en præfabrikeret betonbjælke monteret på nedbankede pæle. På betonbjælken opmures der med to skifter 100 mm exlerblokke for at skabe en sokkel.

Den eksisterende tagkonstruktion nedtages til eksisterende betondæk. Eksist. Tagpap, bjælker og isolering bortskaffes, da det vurderes at dette ikke har nogen værdi.

På den eksisterende betonplade monteres ny kileskåret isolering af hård stenuldsbaseret materiale, og der på svejses 2 lag tagpap.

Da det er uvist om der er krybekælder under hele bygningen er der i denne beregning medtaget merisolering af dæk mellem krybekælder og stueetage. Isoleringen udføres som 300 mm op-hængt mineraluld. Eksisterende døre og vinduer skiftes til nye døre og vinduespartier i aluminium.



Figur 2: Snit i normalkonstruktioner af modellen med de mere traditionelle materialer, som tegl og mineraluld – ill. af BK. stud. N. Sadokierski

#### 4.4 Konstruktioner i den cirkulære metode

For at skabe et sammenligneligt, cirkulært grundlag, har vi set på forskellige materialer og deres egenskaber. Der blevet gjort nogle til og fravalg ud fra forskellige parametre, og samtidig ud fra en sandsynlighedsbetragtning om, hvilke materialer der vil være de mest almindeligt tilgængelige og samtidig have et mindre CO<sub>2</sub> aftryk end den traditionelle metode (CINARK, 2019).

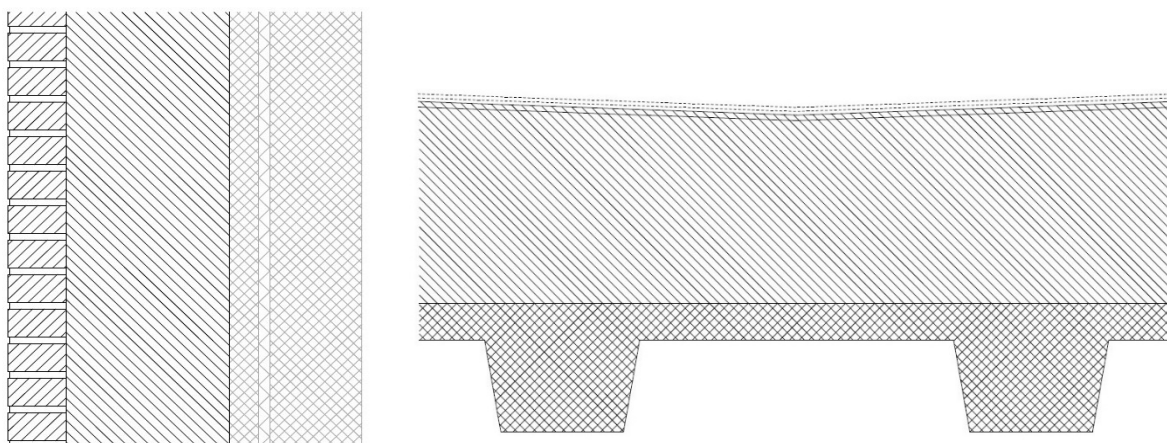
Den cirkulære model, i det efterfølgende kaldet S2K2, består af 300 mm træfiberisolering og en traditionel formur af 108 mm genbrugte teglsten. Eksisterende vinduer udtages og bortskaffes og der monteres nye vinduer der rykkes frem i formur.

For at bære den nye formur etableres der et randfundament der består af en præfabrikeret betonbjælke monteret på nedbankede pæle. På betonbjælken opmures der med to skifter 100 mm exlerblokke for at skabe en sokkel.

Den eksisterende tagkonstruktion nedtages til eksisterende betondæk. Eksist. Tagpap, bjælker og isolering bortskaffes, da det vurderes at dette ikke har nogen værdi.

På den eksisterende betonplade monteres bjælkespær. Disse opklodses for at skabe fald mod afløb, samt tilstrækkelig med plads til isolering. PÅ bjælkespærerne udlægges 22 mm krydsfinér og der indblæses 400 mm træfiberisolering som granulat. Der på-svejses afslutningsvis 2 lag tagpap.

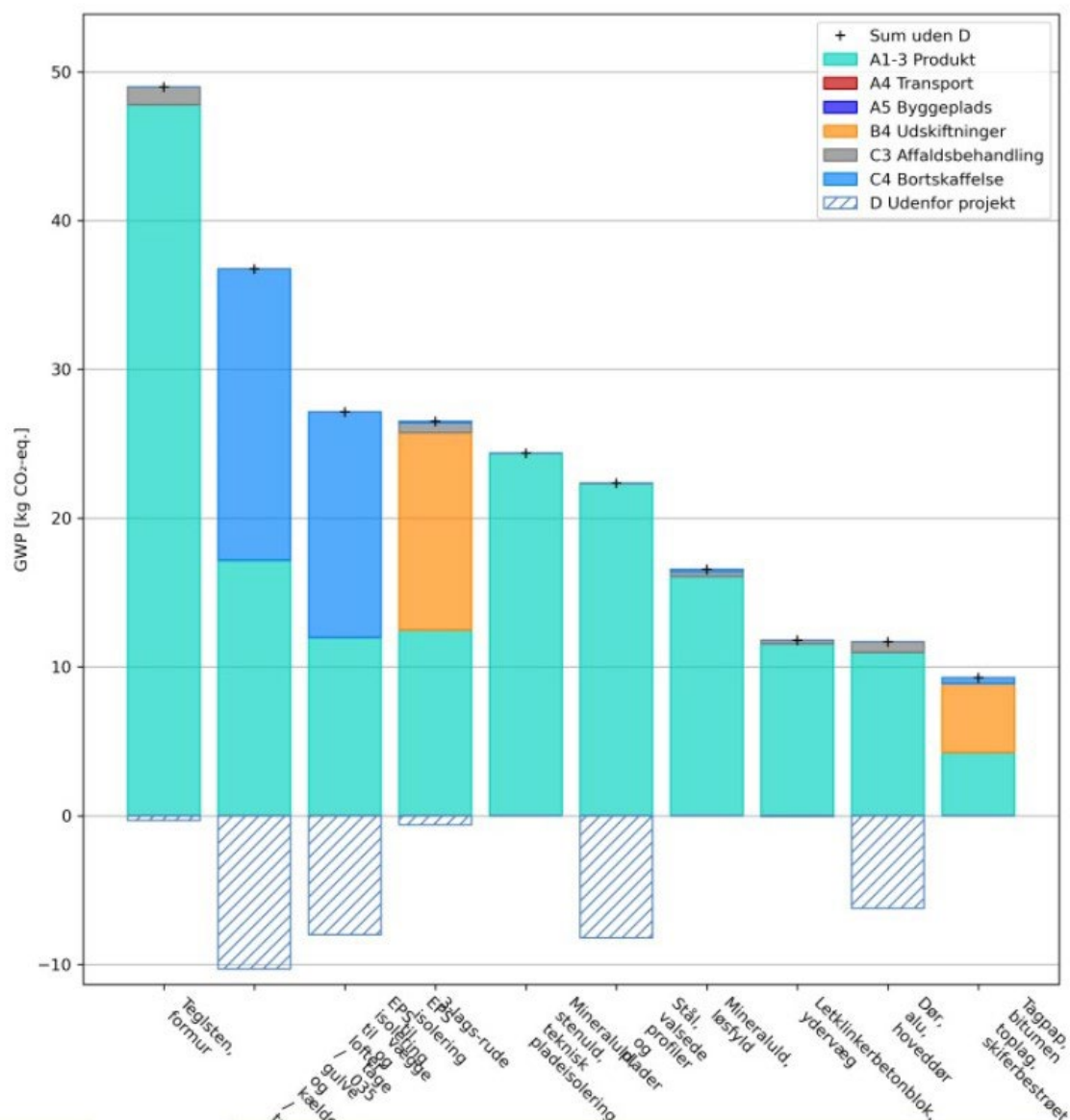
Da det er uvist om der er krybekælder under hele bygningen er der i denne beregning medtaget merisolering af dæk mellem krybekælder og stueetage. Isoleringen udføres som 300 mm op-hængt mineraluld. Eksisterende døre og vinduer skiftes til nye døre og vinduespartier i træ og aluminium.



Figur 3: Snit i normalkonstruktioner af modellen med et større cirkulært fokus, som træfiberisolering og genbrugstegl - ill. af BK. stud. N. Sadokierski

#### 4.5 LCA-beregning af den traditionelle model

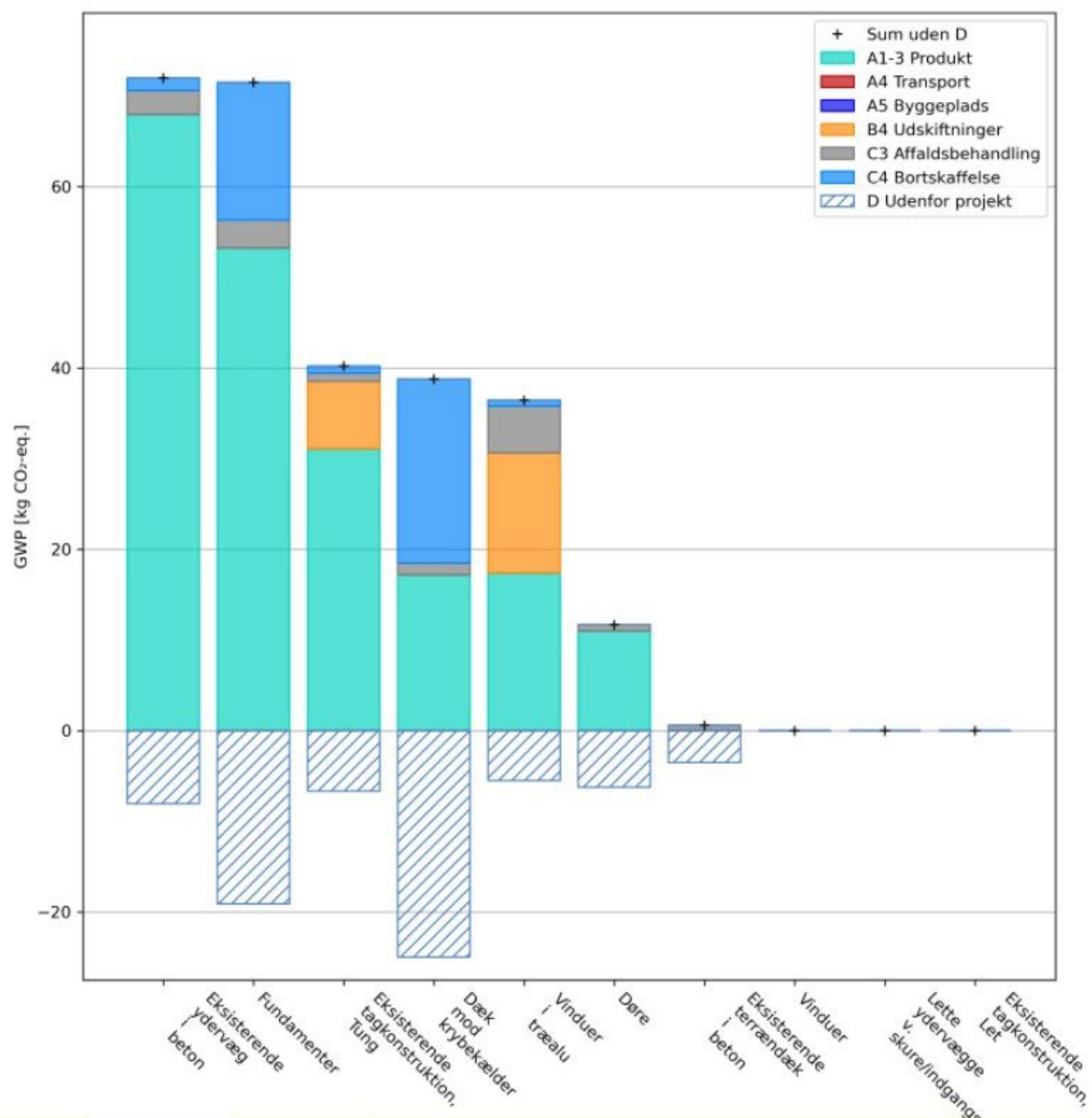
Tanken med de bygningsdele der er sat op på den eksisterende bygning i dette scenarie, er at de er de mest almindelige i den måde vi bygger på i Danmark. Teglstensbyggeri er et af de mest traditionsrigeste byggemetoder for facader som vi har her i Danmark. Men som det tydeligt fremgår af figur 4, så har tegl altså også en meget stor miljøbelastning. Det er ikke en ny opdagelse, men holdt op i mod andre byggevarer er det dog alligevel overraskende hvor meget det egentlig er det drejer sig om.



Figur 4: Grafen viser alle byggevarer CO<sub>2</sub> aftryk i den traditionelle model, målt ud pr kvadratmeter bebygget areal.

Som det tydeligt fremgår af figur 4 har teglsten det absolut største aftryk af CO<sub>2</sub>, af alle de materialer der, er medtaget i beregningen. Knap 50 kg CO<sub>2</sub> eq, bliver der altså udledt pr m<sup>2</sup> bebygget areal af denne type bygning. Det er selvsagt også den største bygningsdel, men det

giver alt andet lige altså fingerpeg om hvor man kan sætte ind og virkelig få reduceret. Det er jo for det meste sådan at tegl fylder en meget stor del af facaden, og da den samtidig har en CO<sub>2</sub> tung produktion, vil det altså være nærliggende at kigge på ydervæggene på materialeni-veau.

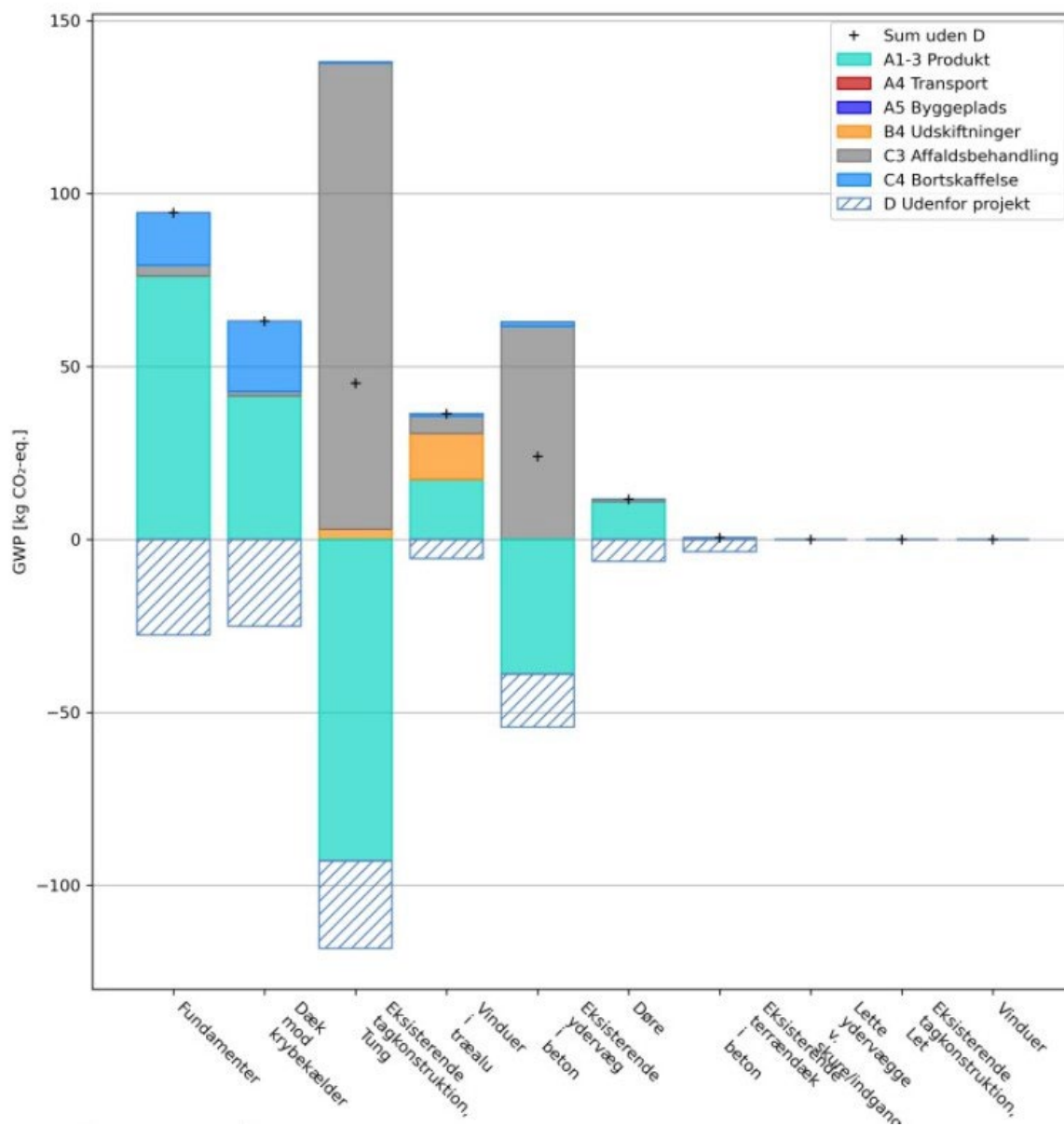


Figur 5: Grafen viser bygningsdele i den Normale model pr m<sup>2</sup> bebygget areal.

Hvis vi prøver at skifte fokus væk fra byggevarerene, og i stedet fokusere på bygningsdele, er billedet lidt det samme. På figur 5 kan vi se at det stadig er vores ydervæg af tegl der er den med det absolut højeste CO<sub>2</sub> aftryk. Men hvis vi ser på nummer to kolonne, Fundamenter, så er den også temmelig høj, og er en konstruktion der er direkte afledt af at vi har en tung ydervæg der jo altså skal stå på noget for at blive stående. Derfor er det måske værd at overveje den tunge ydervæg, og om den skal have den udstrækning som vi traditionelt set bygger med



Hvis vi sammenligner figur 6, med figur 4, ser vi en tydelig forskel. Den største forandring er den store mængde træfiber isolering, der her når op på knap 150 kg CO<sub>2</sub> eq pr m<sup>2</sup>. Det er dog affaldsbehandlingen der får den til at stige så voldsomt. Den cyane farve derimod viser os, der i produktionsfasen af materialet er et negativt CO<sub>2</sub> aftryk, på over -100 kg CO<sub>2</sub> eq. pr m<sup>2</sup>.



Figur 7: 8Bygningsdele i den cirkulære model fordelt pr m<sup>2</sup> bebygget areal

Hvis vi i stedet prøver at kigge på bygningsdelene ser vi en tydelig forskel fra den traditionelle model. Bemærk at der næsten ikke er sket nogle konstruktive ændringer men udelukkende en ændring i de materialer vi stiller op. Fx var ydervæggen i den traditionelle model (fig. 5) helt oppe på ca. 70 kg CO<sub>2</sub> eq. pr. m<sup>2</sup> bebygget areal, og som det fremgår af den cirkulære model (fig. 7) så er vi pludselig ude i et negativt CO<sub>2</sub> aftryk på ca -40 kg CO<sub>2</sub> eq. pr m<sup>2</sup> bebygget areal.

Det er klart at dette er et opstillet regnestykke. Genbrugsteglene er meget dyrere end de normale nye teglsten, men vi bliver nødt til at kunne se potentialet i at kunne nedtage bygningsdele således at de kan genbruges igen. For her ligger der altså en kæmpe stor besparelse på CO<sub>2</sub> udledningen.

Et problem er selvfølgelig at vi ikke kan bruge teglsten til genbrug, hvis de er fra efter start 1950'erne, da man her begyndte at bruge cement i mørtlen. Det gør at det er langt mere besværligt og dyrere at få rensset stenene og derfor ikke rentabelt. Men potentialet i at finde en afrensningemetode der gør at vi kan få rengjort de sten også, skulle være til at få øje på. Samtidig må delkonklusionen på ovenstående også være at de træbaserede isoleringsmaterialer, hjælper rigtig godt til med at få nedbragt CO<sub>2</sub> udledningen.

#### 4.7 Scenarie 3, nedrivning og nybyg.

Der forelægger altid en mulighed i at nedrive eksisterende bygninger. Det kan være at pga. at den eksisterende indretning ikke længere opfylder de behov som der er påkrævet efter nutidens standarder, eller at bygningen simpelthen er for nedslidt til at det kan betale sig at oprette den til en standard der er rentabel for bygherre (Beeck et al., 2020). Vi har valgt helt at se bort fra eventualiteter af denne karakter og kigge nøgtern på det ene og det andet.

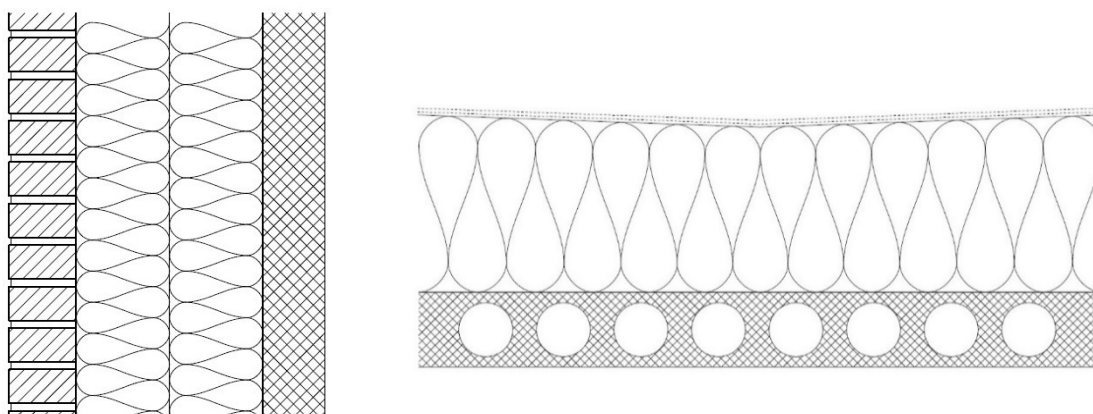
For at sikre et sammenligneligt grundlag nedrives den eksisterende bygning, og der vil blive opført en ny i præcis samme størrelse og på det præcist samme sted, således at det kun er materialerne og forbruget af disse der vil være til forskel. Alle mængder vil således være ens.

Samtidig vil vi også kigge på om de nedrevne bygningsdele, på nogen måde vil have potentiale for genbrug, enten på en ny bygning på samme sted, eller som donor bygning på en anden af Næstved Kommunes matrikler.

#### 4.8 Konstruktioner i den traditionelle metode

Den traditionelle model, i det efterfølgende kaldet S3K1, består af 300 mm mineraluld og en traditionel formur af 108 teglsten, samt en 100 mm ny bagmur af letbeton. Der udføres et traditionelt randfundament i beton med to skifter Exler-therm blokke som sokkel, der pudses

Taget udføres med forspændte betondæk, og der udføres 300 mm kileskåret isolering med tagpap ovenpå. Mod terræn udføres der et traditionelt terrændæk af beton, med 400 mm polystyren og et afrettet gruslag for kapillarindtrængning. Betonen udføres med trykstyrken 25 mPa. Da det er uvist om der er krybekælder under hele bygningen er der i denne beregning medtaget merisolering af dæk mellem krybekælder og stueetage. Isoleringen udføres som 300 mm ophængt mineraluld. Alle vinduer udføres som nye trelagstermorer med karm og ramme i træ og aluminium.



Figur 8: Snit i normalkonstruktioner af modellen med de traditionelle materialer, som tegl, mineraluld og beton – ill. af BK. stud. N. Sadokierski.



#### 4.9 Konstruktioner i den cirkulære metode

For igen at skabe det sammenlignelige grundlag er der i dette scenarie, taget udgangspunkt i de samme materialer som ved S2K2

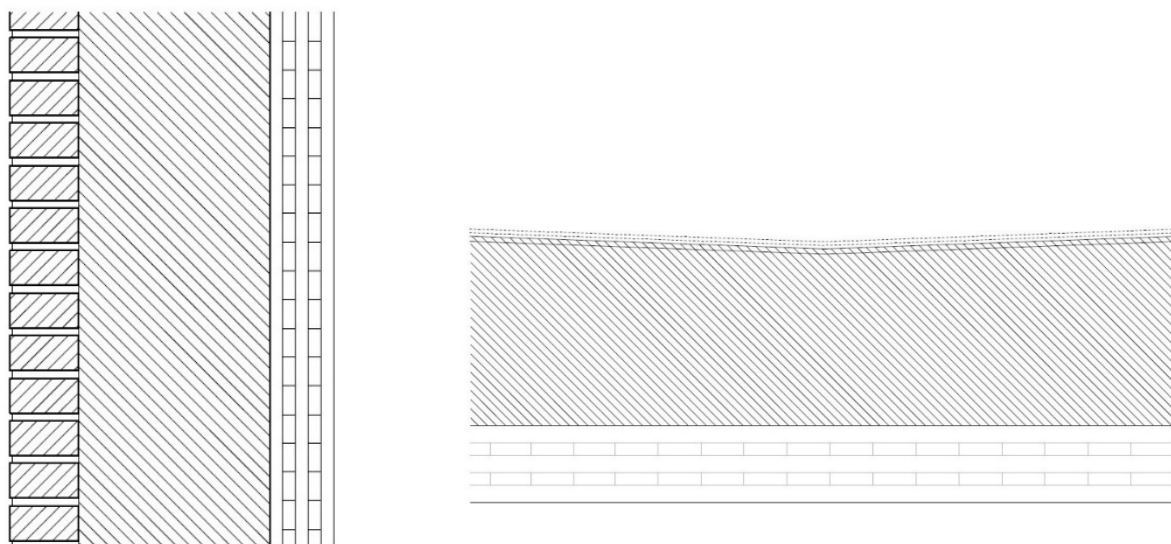
Den cirkulære model, i det efterfølgende kaldet S3K2, består af 300 mm træfiberisolering og en traditionel formur af 108 mm genbrugte teglsten, samt en 100 mm bagvæg af CLT.

Der udføres et traditionelt randfundament i beton med to skifter Exler-therm blokke som sokkel, der pudses

Der udføres ny tagkonstruktion hvor det bærende element er 100 mm CLT. På CLT-pladen monteres bjælkespær. Disse opløses for at skabe fald mod afløb, samt tilstrækkelig med plads til isolering. På bjælkespærerne udlægges 22 mm krydsfinér og der indblæses 400 mm træfiberisolering som granulat. Der på-svejses afslutningsvis 2 lag tagpap.

Mod terræn udføres der et traditionelt terrændæk af beton, med 400 mm polystyren og et afrettet gruslag for kapillarindtrængning. Betonen udføres med trykstyrken 25 mPa.

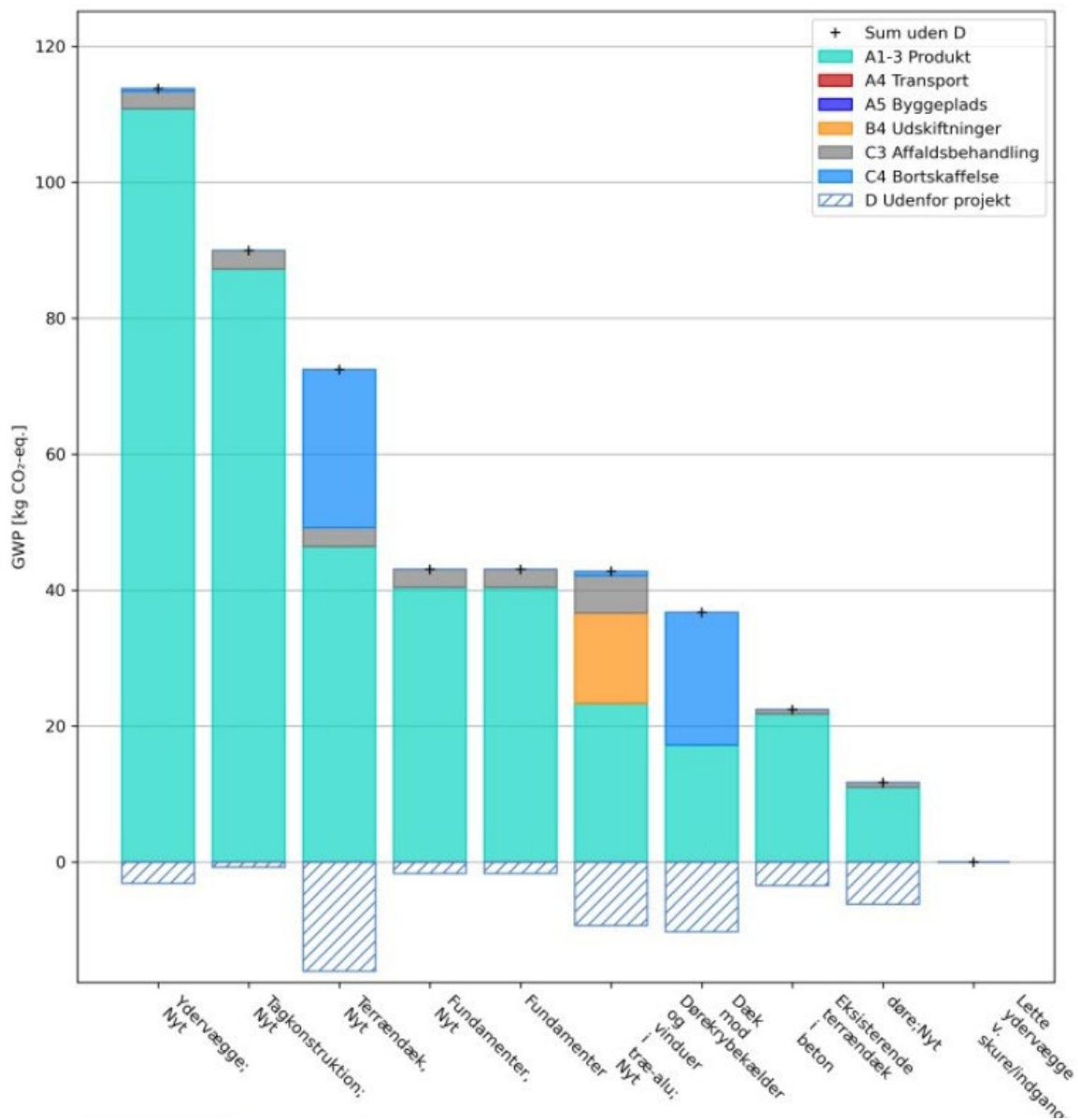
Alle vinduer udføres som nye trelagstermoruder ed karm og ramme i træ og aluminium.



Figur 9: Snit i normalkonstruktioner af modellen med et større cirkulært fokus, som træfiberisolering, gen-brugstegl, samt CLT  
- ill. af BK. stud. N. Sadokierski.

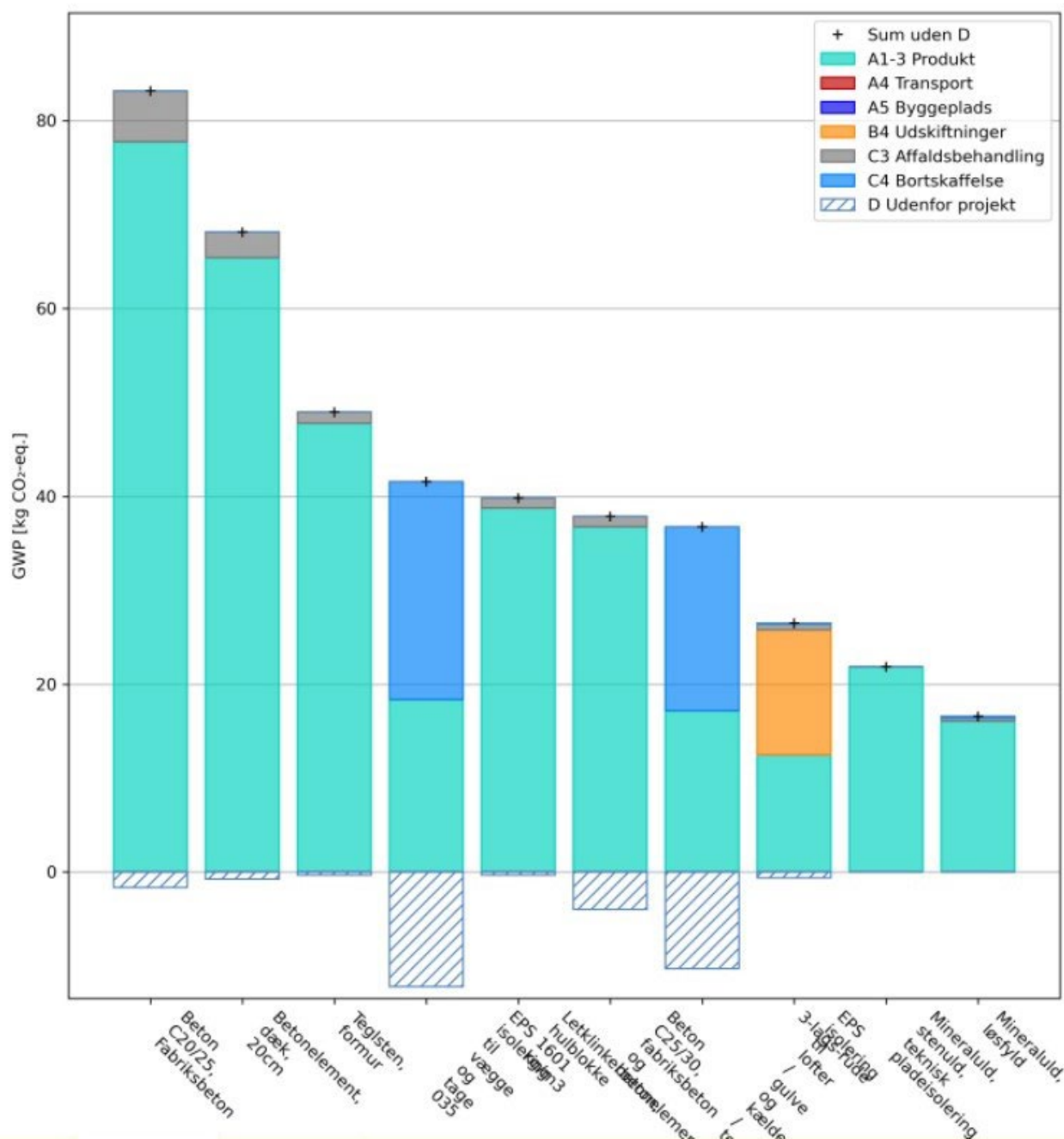
#### 4.10 LCA-beregning af den traditionelle model

Som i det scenarier med renovering, vil vi i dette scenarie forsøge at benytte materialer der anses for de traditionelle byggematerialer i Danmark.



Figur 10: Bygningsdele i den traditionelle model fordelt pr m<sup>2</sup> bebygget areal

Som det fremgår af figur 10 er det ikke overraskende de tunge bygningsdele der ligger højt på CO<sub>2</sub> udledningen. Der er meget store omkostninger i produktionsfasen, og også nogle enkelte poster med store CO<sub>2</sub> omkostninger til bortskaffelse.



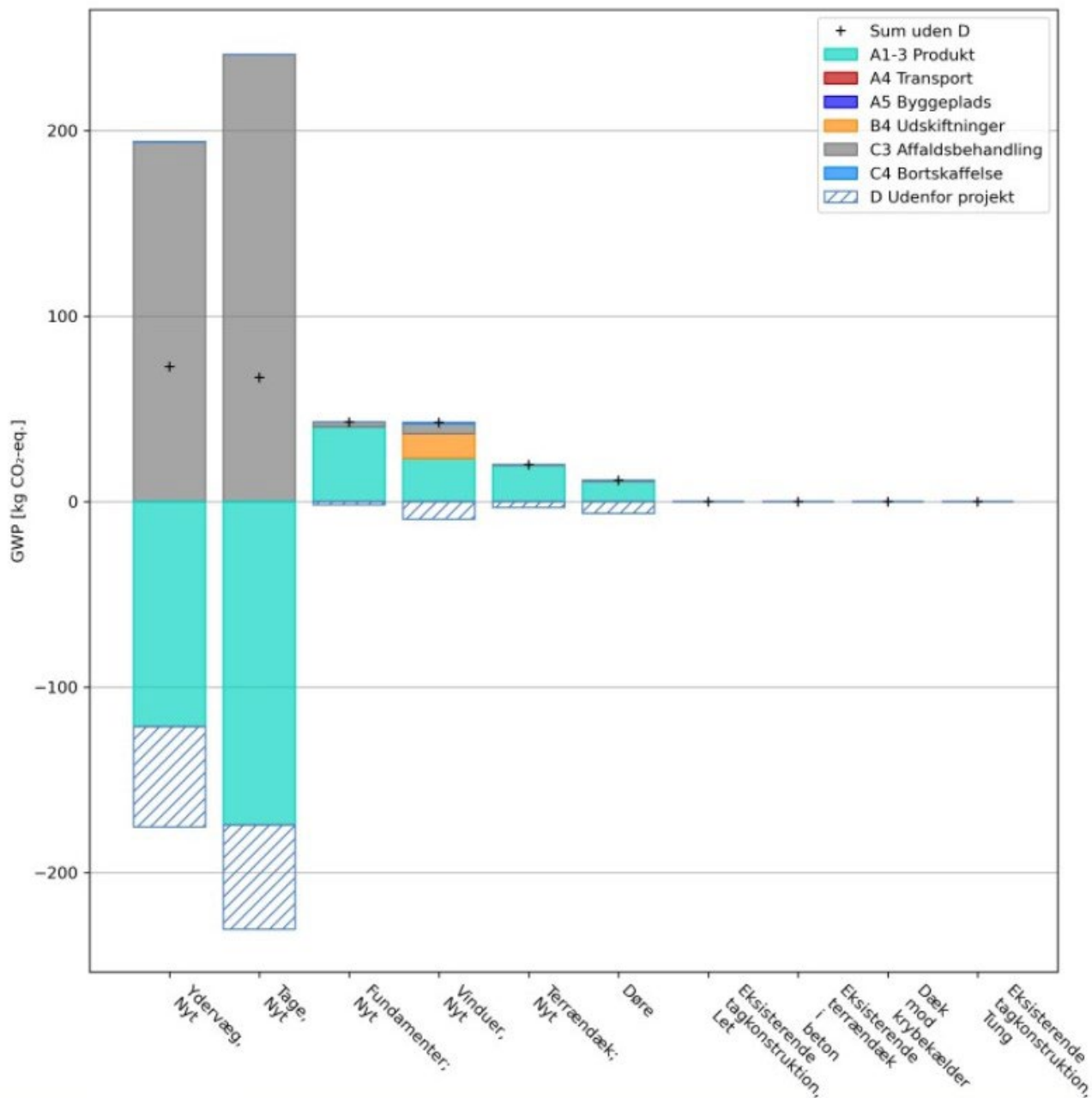
Figur 11: Byggevarer i den traditionelle model fordelt pr m<sup>2</sup> bebygget areal

Hvis vi stedet prøver at lave en sortering og kigger på byggevarerne (fig. 11), så er det ret tydeligt at det er betonen der er den byggevarer med det største aftryk. Det giver selvfølgelig stof til efter tanke og skaber først og fremmest fundamentet til hvordan vi kan betragte bygnin- gen i det efterfølgende scenarie, omkring en cirkulær model.

### 4.11 LCA-beregning af den cirkulære model

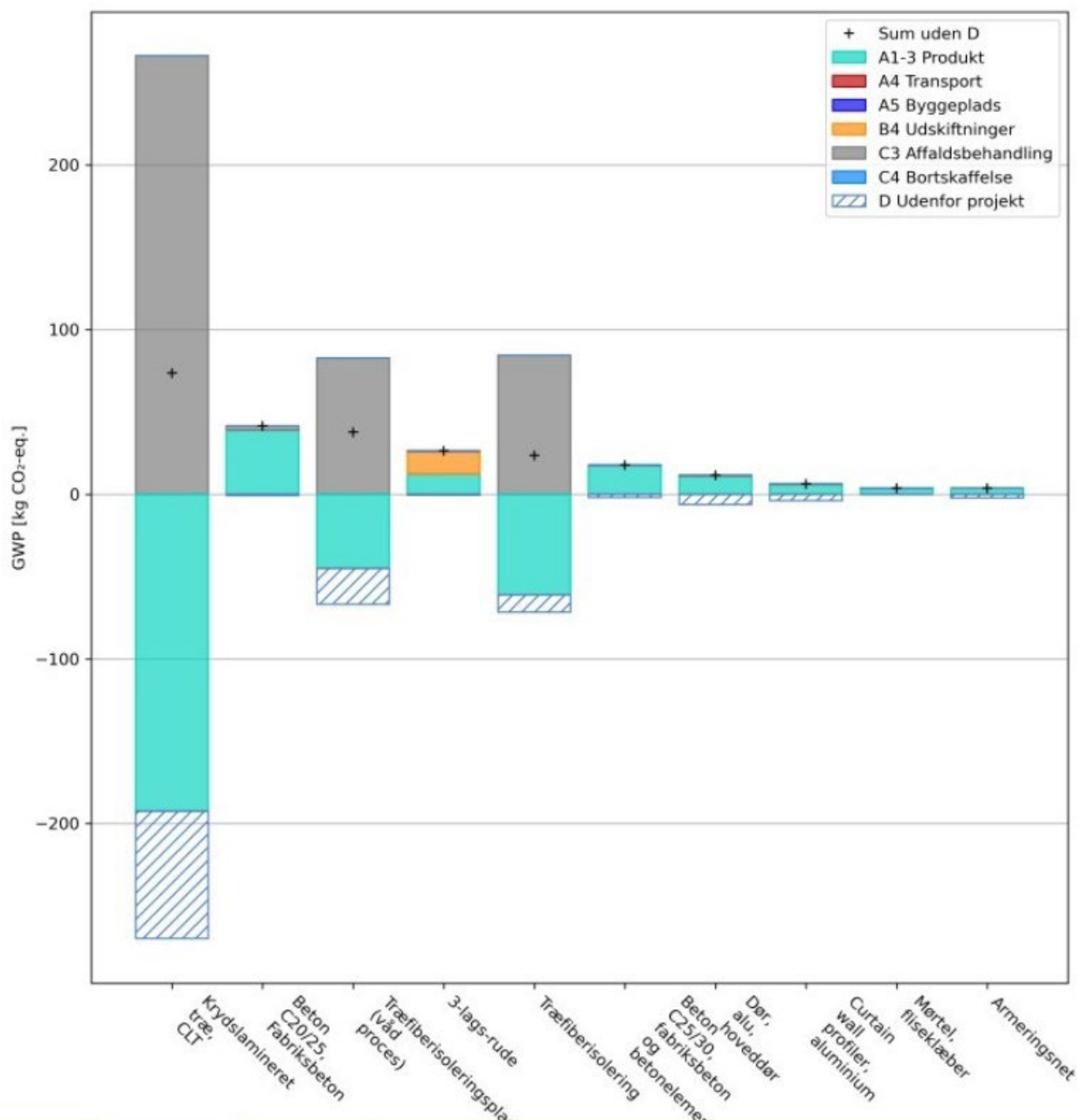
I dette scenarie vil vi kigge på bygningen nedtaget og derefter genopført med materialer der har et lavere CO<sub>2</sub> aftryk, end i det foregående scenarie, men stadig materialer der visuelt har de samme egenskaber.

I scenarie S3K1 så vi store udledninger af CO<sub>2</sub> på betonkonstruktionerne. Derfor har det givet os et overblik over hvor det kunne svare sig at sætte ind og foretage nogle justeringer på bygningsdelene.



Figur 12: Bygningsdele i den cirkulære model fordelt pr. m<sup>2</sup> bebygget areal.

Som det meget tydeligt fremgår af figur 12, har ændringerne i haft en meget stor indflydelse på vores bygningsdele. For ydervægge og tag ser vi nu en CO<sub>2</sub>-graf der går i negativ. Det skyldes selvfølgelig mængden af træ, men også at vi har konverteret de nye teglsten i facaden til genbrugsteglsten.



Figur 13: Byggevarer i den cirkulære model fordelt pr. m<sup>2</sup> bebygget areal.

Figur 13 viser os at selvom betonen stadig har det største aftryk, så er det i den beskedne ende med ca. 50 kg CO<sub>2</sub> eq/ m<sup>2</sup> bygning. Men det er alle træmaterialerne der er med til at vende hele billedet på hovedet. Det giver altså unægtelig en meget markant forskel, på to bygninger, der er præcis lige store og som vil optræde med det præcis samme udtryk.

#### 4.12 Del-konklusion på de fire scenarier

Som det tydeligt fremgår så er der altså en betydelig forskel på hvor meget CO<sub>2</sub> der udledes, og at vi kan styre den udvikling ved at lave kloge beslutninger på materialeniveau. I det efterfølgende vil vi kort opsummere det totale CO<sub>2</sub> aftryk for bygninger i de fire scenarier.

##### **S2K1**

Samlet CO<sub>2</sub> udledning: **85.888,86 kg CO<sub>2</sub> eq**

##### **S2K2**

Samlet CO<sub>2</sub> udledning: **12.059,25 kg CO<sub>2</sub> eq**

##### **S3K1**

Samlet CO<sub>2</sub> udledning: **161.837,43 kg CO<sub>2</sub> eq**

##### **S3K2**

Samlet CO<sub>2</sub> udledning: **-73.835,88 kg CO<sub>2</sub> eq**

De ovenstående værdier er kun tal taget for de tre første faser (A1-A3), altså for produktionen, og selvom at scenarie S2K2 har et negativt CO<sub>2</sub> aftryk, skal dette ses i lyset af at man har nedrevet hele bygningen inden at man starter byggeriet. Det er regnet med i selve beregningen, men det skaber også en uforholdsmæssig stor mængde affald, og der skal stadig produceres mange nye materialer. Derfor vil det også ud fra den sammenligning der her er opstillet, blive anbefalet at gå videre med scenarie S1K2, den cirkulære model ved renovering.

#### 4.13 Genbrug af materialer

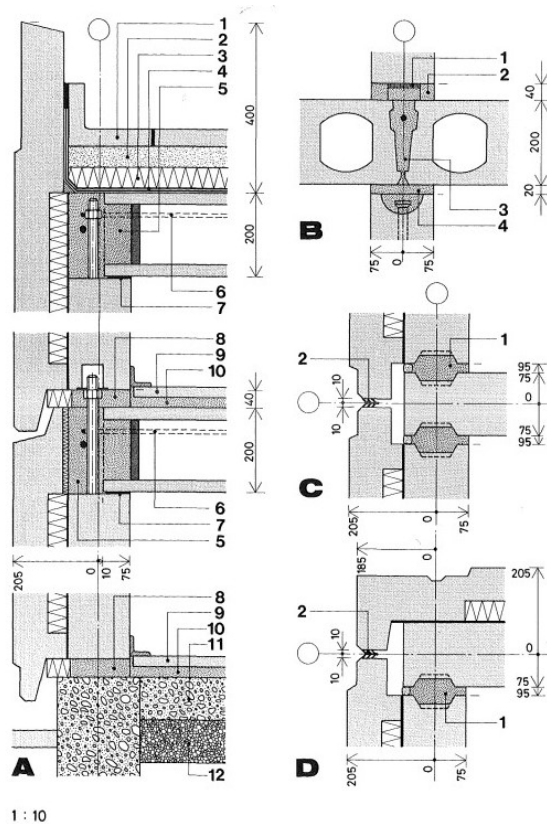
Undervejs i denne proces har vi også fået stillet som opdrag at kigge på potentialet i de eksisterende materialer, for at vurdere om der var mulighed for at genbruge nogle af dem i et fremtidigt scenarie. Fx scenarie S2k1 eller S2K2.

For at vurdere dette forsøgte vi at udarbejde et materialepas. Hensigten med materialepasset har været at kortlægge de eksisterende bygningsdele og vurdere om hvor vidt de kunne genbruges eller om de skulle bortskaffes. Samtidig skulle Materialepasset også give et hurtigt overblik over hvilke bygningsdele der evt. var forurenede af diverse kemikalier, som kunne mindske potentialet.

For at få et så stort datagrundlag som overhovedet muligt lod vi et valgfagshold fra 4. og 5. semester fra Bygningskonstruktøruddannelsen arbejde med materialet. Vi fik ca. 30 forskellige bud på hvordan man kunne arbejde med materialepasset. Vi forsøgte at koncentrere arbejdet omkring de eksisterende betonelementer, da vi her så en stor masse af bygningsdele, der ville kunne spare noget CO<sub>2</sub>, såfremt man kunne få pillet dem ned på en måde, så de kunne opstilles igen.

Vi kunne dog ud fra den tilgængelige miljørapport der foreligger for bygningen, konstatere at der var store områder omkring sammenfugningen af elementerne, der er forurenede med PCB. Det har samtidigt været en umulig opgave at få adgang til tegninger over de eksisterende bygninger. Dvs. at vi ikke har haft adgang til detaljetegninger over de eksisterende samlinger

af betonelementerne. Vi har dog søgt i arkiverne fra Danskbyggeskik.dk hvor vi har fundet bogen "Montagebyggeri" af Henrik Nissen (Nissen, 1984).



1 : 10

Figur 14: Udklip fra Henrik Nissens bog, Montagebyggeri, 1984

Figur 14 er et udklip fra bogen Montagebyggeri. Tegningen forestiller typiske samplingsdetaljer, der er meget tidstypiske for elementmontagebyggeri fra den tidsperiode, som vores referencbyggeri befinder sig i. Der er derfor en plausibel grund til at tro at vores byggeri er samlet på nogenlunde samme måde som det viste. Det betyder også at adskillelsesmulighederne er meget begrænsede, da alle samlinger er udført med in situ-beton. Derfor blev muligheden for at tage elementerne hele ud af byggeriet til senere genbrug, ret hurtigt afskrevet.

Dernæst forsøgte vi om der var mulighed for at skille de to lag i sandwich elementet fra hinanden, og måske bruge den forreste plade, men efter at have konsulteret en professionel nedriver (Tscherning), måtte vi også afskrive den mulighed, da betonen, under produktionen af denne, er lagt vådt ned over den polystyren der er isoleringslaget, hvorfor det ikke er muligt at skille lagene ad, uden at der er en kontamination af materialerne.

Det blev derfor ret hurtigt i processen synligt for os at, selvom tanken om genbrug er virkelig sympatisk, så måtte vi i dette projekt gå bort fra det, da det ikke er den bedste bygning at teste adskillelse eller materialepas på.

## 5 Konklusion

Der hersker ingen tvivl om at der ligger et meget stort og uforløst potentiale i direkte genbrug af byggematerialer, eller som forberedelse af genbrug jf. affaldshierarkiet (Lovtidende, 2021).

Affaldshierarkiet fortæller os at første prioriteten ved behandling af byggeaffald er at forebygge affald. Det taler rigtig meget ind i tanken om at skabe direkte genbrug, men samtidig løber vi ind i en anden problemstilling omkring lovgivningen, da de byggevarer der lægger op til direkte genbrug, ikke nødvendigvis efterlever de krav, der er til dem i Bygningsreglementet (SBI, 2015).

Samtidig er der også meget store udfordringer med hele aftagerprocessen omkring emnet. Er der en aftager til lige præcis den komponent man står og gerne vil af med? Og Hvis man som aftager har brug for en bestemt komponent, er den så i samme øjeblik, tilgængelig? Der er mange uløste faktorer i forhold til alle typer genbrug. For mange til at det er noget der lige lader sig løse.

Da vi så rykkede videre i affaldshierarkiet og kiggede på om der var mulighed for nogen grad af genanvendelighed, så det straks mere lyst ud. Her er der faktisk et marked der er i rivende udvikling. Både betonbranchen og mineraluldsproducenterne har i en årrække, taget nedtagne produkter ind, for at genanvende dem i nye produkter.

Da vi har rigtig meget eksisterende beton i vores bygning var det nærliggende at kigge på det hvor stort et potentiale der ville ligge her. Det viste sig dog at være, målt på CO<sub>2</sub> udledning, meget minimalt hvor stor en besparelse der var. Jf. SBI (Andersen et al., 2019) er besparelsen på at bruge nedknust beton som tilslagsmateriale, målt op imod konventionel beton, kun 0,3% kg CO<sub>2</sub> eq. Dette er så beskedent at det næsten ikke er værd at regne med. En af grundene er at der i den beton som er godkendt, med nedknust beton som tilslagsmateriale, er det kun ca. 0,08 kg genanvendt beton pr kg færdig beton. Det vil samtidig også sige at hvis man nedknuser de mængder af beton vores bygning har, vil der være store mængder tilbage der ikke ville kunne indgå i ny beton til bygningen.

Derfor er konklusionen på denne del af projektet, at den bedste form for genbrug er simpelthen at lade bygningen stå som den er. Det generere et minimum af affald og samtidig vil der jo være en stor CO<sub>2</sub> besparelse, da der ikke skal produceres lige så meget nyt.

Samtidig har den bygning som vi har testet potentialet på, ikke haft de rigtige ressourcer at arbejde med. Mange af de eksisterende bygningsdele er kontamineret af forskellige giftstoffer. Derfor er der i en praktisk kontekst ikke rigtig noget at bruge, såfremt man kunne skille det ad. (DMR, 2020)

Bygningen er også bygget på en måde der afskærer en hver form for adskillelse, da delene skal skæres fra hinanden på en måde der vil fjerne den oprindelige bæreevne. Dette er selvfølgelig gældende primært for betonen, men da bygning primært består af beton, er dette en



kolossal forhindring. Studier fra Vandkunsten arkitektfirma, slår ligeledes fast at betonelementer der bliver fritskåret ikke har den store mulighed for genanvendelse (Vandkunsten Architects, 2017).

Vi har testet LCA-byg som værktøj på eksisterende bygninger. Det har alt i alt været en meget god og lærerig proces. Vi har brugt den seneste version af LCA-byg, LCA-byg 5, til vores beregninger. LCA-byg 5 er tilpasset den nye Frivillige Bæredygtighedsklasse.

Vi har fået nogle gode men også forventede resultater. Det er helt forventeligt at hvis man putter meget træ ind i sine konstruktioner så får man en mindre CO<sub>2</sub> udledning for produktionen. Det er dog alligevel overraskende at den er så stor som den er. Forskellen på de to scenarier i nybyg er 235 ton CO<sub>2</sub> eq, i den cirkulære models favør. Det er rigtig meget.

Forskellen på renoverings scenariet er lidt mere beskedent med 74 ton CO<sub>2</sub> eq, i den cirkulære models favør. Men med et beskedent aftryk på 12 ton CO<sub>2</sub> eq, er det alligevel den løsning vi vil anbefale til Næstved Kommune, da det sammenlagt er den der er mest skånsom, da vi ikke generere ret meget affald, samt sparer en masse i produktionsledet.

Det er klart at i forhold til den praktiske udformning af bygningen, er man mere låst hvis man renovere frem for at bygge en ny bygning, hvor man kan etablere den planløsning man finder bedst egnet, men dette ville sagtens kunne løses i den eksisterende struktur, evt. med nogle udbygninger eller lignende, de rigtige steder.

Selve forløbet har været til tider været af den frustrerende slags, da der har været mange bundne opgaver der ikke helt matchede de ting vi ønskede at undersøge. Vi synes dog at vi nu er kommet i mål med et tilfredsstillende resultat der faktisk giver et godt billede af de muligheder der ligger i LCA som analyseværktøj, og en arbejdsgang som Næstved Kommune kan bruge fremadrettet på deres eksisterende bygninger, når de skal beslutte hvad der skal ske med dem.

## 6 Referencer

- Andersen, C. E., Rasmussen, F. N., Zimmermann, R. K., Kanafani, K., & Birgisdóttir, H. (2019). *Sbi 2019:08 Livscyklusvurderinger for Cirkulære løsninger*.
- Beeck, K. G., Aufeldt, P., Lund, O., Bager, P., Sørensen, A., Aldershvile, B., ... Koch-Ørvad, N. (2020). Cirkulær nedrivning. *Værdibyg*, (1), 24.
- Birgisdóttir, H. (2015). Introduktion til LCA på bygninger. *Energistyrelsen*.
- CINARK. (2019). *Byggeriets materiale pyramide*.
- DMR. (2020). *RAPPORT VEDRØRENDE ORIENTERENDE*.
- Hauge. (2019). *Analyse af Bygnings- og Materialepas*. (november). Retrieved from [https://www.teknologisk.dk/\\_/media/77203\\_Materiale og bygningpas.pdf](https://www.teknologisk.dk/_/media/77203_Materiale%20og%20bygningpas.pdf)
- Lovtidende. (2021). *Affaldsbekendtgørelsen. 2020(2159)*.
- Nissen, H. (1984). *Montagebyggeri*.
- Rasmussen, T. V. (2020). *BUILD Rapport 2020:25 - Anvendelse af træ i byggeriet Potentialer og barrierer*.
- SBi. (2015). *Genbrug af byggevarer - Forprojekt om identifikation af barrierer*. Retrieved from [www.sbi.dk](http://www.sbi.dk)
- Vandkunsten Architects. (2017). *Rebeauty: Nordic Built Component Reuse*.
- Zimmermann, R. K. (2019). *Hvordan kan vi regne på cirkularitet i byggeriet?* (November).
- Zimmermann, R. K., Andersen, C. E., Kanafani, K., & Birgisdóttir, H. (2020). *Sbi 2020:04 Klimapåvirkning for 60 bygninger*.