

Rapport

XiiT Foam
Vann- og frostsikring av tunneler

Vurdering av konsept, CO2, byggetid og brannsikkerhet opp mot eksisterende løsninger

Forfatter(e):

Helene Strømsvik, Hrefna Run Vignisdottir, Dirk Van Oosterhout

Rapportnummer:

2024:00813 - Åpen

Oppdragsgivere:

XiiT AS

SINTEF Community
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim

Sentralbord: 40005100

info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919303808 MVA

Rapport

XiiT Foam
Vann- og frostsikring av tunneler

Vurdering av konsept, CO2, byggetid og brannsikkerhet
opp mot eksisterende løsninger

EMNEORD
Tunnel
Vann- og frostsikring

VERSJON
6.0

DATO
2025-01-15

FORFATTER(E)
Helene Strømsvik, Hrefna Run Vignisdottir, Dirk Van Oosterhout

OPPDRAGSGIVER(E)
XiiT AS

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE
Rolf Terje Jakobsen

PROSJEKTNUMMER
102031088

ANTALL SIDER
17

SAMMENDRAG
Foreliggende rapport er utarbeidet i forbindelse med prosjektet "brann- og frostsikker vannsikring" støttet av RFF-Agder. Moderne tunneler og underjordsanlegg krever at man sikrer anleggene og tunnelene med produkter som ivaretar hensyn knyttet til både sikkerhet og miljøbelastning. Rapportens hovedmål er å identifisere følgende utfordringer knyttet til ett nytt konsept for vann- og frostsikring i norske tunneler: 1. Besparelsene på miljø, 2. Kostnadsbesparelser og 3. Sikkerhetsperspektiv. Resultatene for vurdering av reduksjon av klimagassutslipp og tidsforbruk for XiiT foam montert i direktekontakt med bergsikringen viser et betydelig potensial for reduksjon av både CO_2 og kostnader, sammenlignet med dagens etablerte konsepter for vann- og frostsikring for både veg- og jernbanetunneler i Norge.

UTARBEIDET AV
Helene Strømsvik
SIGNATUR

KONTROLLERT AV
Eivind Grøv
SIGNATUR

GODKJENT AV
Sindre Log
SIGNATUR
Sindre Log (Jan 15, 2025 11:17 GMT+1)

RAPPORT NR. 2024:00813
ISBN 978-82-14-07055-2
GRADERING Åpen
GRADERING DENNE SIDE Åpen

COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001 · ISO 14001
ISO 45001

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1.0	2024-07-02	Notat leveres til XiiT.
2.0	2024-07-05	Rettelse i beregning
3.0	2024-08-12	Justering mht. mer dokumentasjon
4.0	2024-08-19	Justering CO_2-beregninger
5.0	2024-11-19	Justeringer etter dialogmøter
6.0	2025-01-10	Inkludert Ref. 12

Innholdsfortegnelse

1 Bakgrunn 4

2 Konseptbeskrivelse 4

Vegtunneler 5

2.1 Jernbanetunneler 6

2.2 Vann- og frostsikringsløsning for tunneler ved bruk av XiiT 7

2.3 Tidsbruk ved installasjon 9

2.4 Klimagassutslipp 11

2.5 Branntester av Xiit/foam 13

2.6 Oppsummering 14

3 Referanser 16

BILAG/VEDLEGG:

INGEN VEDLEGG

1 Bakgrunn

Foreliggende rapport er utarbeidet i forbindelse med prosjektet "brann- og frostsikker vannsikring" støttet av RFF-Agder. Moderne tunneler og underjordsanlegg krever at man sikrer anleggene og tunnelene med produkter som ivaretar hensyn knyttet til både sikkerhet og miljøbelastning. Dette prosjektets hovedmål vil derfor være å identifisere følgende utfordringer knyttet til ett nytt konsept for vann- og frostsikring i norske tunneler bestående av produktet XiiT foam:

1. Besparelsene på miljø
2. Kostnadsbesparelser
3. Sikkerhetsperspektiv

Hovedmålet vil være å bidra til å støtte en videre utvikling av produktet XiiT foam, slik at dette i fremtiden kan stå frem som et nytt alternativ til anvendelse i fremtidige tunneler og underjordsanlegg som skal bygges i Norge.

2 Konseptbeskrivelse

XiiT foam er et produkt som potensielt kan anvendes for vann- og frostsikring i tunneler i Norge. Produktet er allerede tatt i bruk i tunneler i Europa, kjent som Carfoam, men er ikke et etablert produkt i Norge per i dag. XiiT foam er et fleksibelt materiale som består av flere lag med ulike egenskaper og leveres i ruller med følgende tykkelser og bredder:

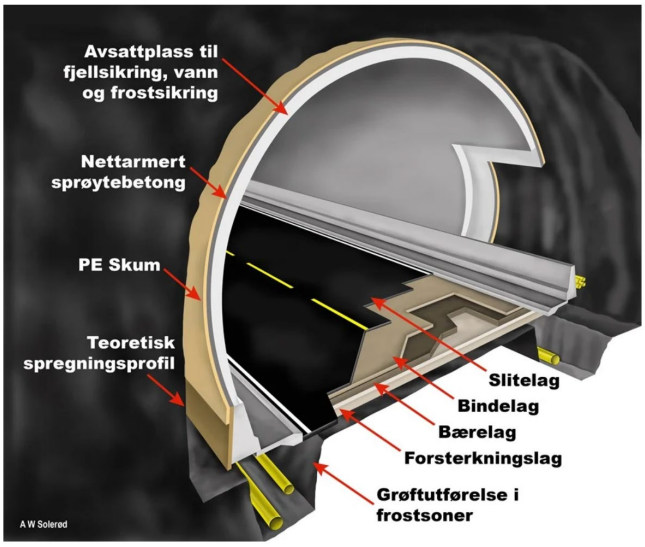
- Tykkelse 6 mm, leveringsbredder 200 cm og 390 cm
- Tykkelse 12 mm, leveringsbredder 200 cm og 400 cm

For detaljert informasjon om materialet henvises det til produktets datablad [1].

I foreliggende rapport legges det vekt på hvordan XiiT foam kan finne en anvendelse i norske veg- og jernbanetunneler. Generelt benyttes det ulike konsepter for vegtunneler i forhold til jernbanetunneler og regelverket er også ulikt for de to formålene. For å gi en grunnleggende beskrivelse av konseptene og hvordan XiiT, enten kan benyttes alene eller kombinert med eksisterende løsninger, gis en kort beskrivelse av eksisterende konsepter henholdsvis vei- og jernbanetunneler.

Vegtunneler

Tunnelkledning, inkludert vann- og frostsikring, i norske tunneler er relativt unik, sett i internasjonal sammenheng. Det benyttes vann- og frostsikringshvelv, også betegnet som "styrt profil", som illustrert i Figur 1.



Figur 1. Skisse over tradisjonelt konsept for vegtunneler med vann- og frostsikringshvelv [2].

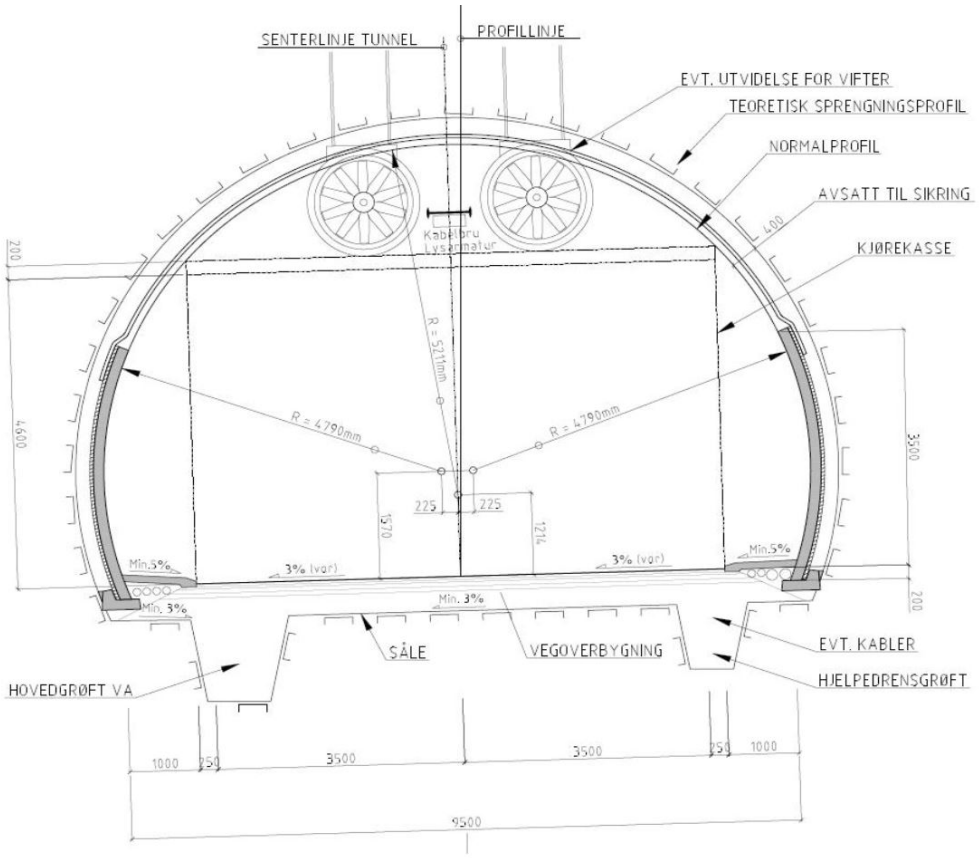
Vann- og frostsikringshvelvet kan konstrueres med ulike materialsammensetninger, som vist i tabell i Figur 2. Valget av løsning defineres av tunnelklassen, som igjen avhenger av ÅDT og tverrsnittet på tunnelen. I N500 defineres dette under "kjente løsninger" [3].

Tabell 8.4.1—1 — Tunnelkledninger og bruksområder

Tunnel-klasse	Vann-/ frostsikringskonstruksjon	Vannsikring og frostisolasjon
A og B	Hvelv av nettarmert sprøytebetong, montert over føringskant av betong	Frostisoleres med PE-skum ved $F_{10} \geq 8000$ h°C, kan utføres uisolert, med membran type III (tabell), ved $F_{10} < 8000$ h°C
C	Hvelv av nettarmert sprøytebetong med føringskant av betong Veggelementer av betong i innkjøringssonene, med sprøytebetong i heng	Frostisoleres med PE-skum ved $F_{10} \geq 8000$ h°C, kan utføres uisolert, med membran type III (tabell), ved $F_{10} < 8000$ h°C Veggelementer frostisoleres med XPS
D og E	Veggelementer av betong, med nettarmert sprøytebetong i heng	Veggelementer frostisoleres med XPS. Frostisoleres med PE-skum ved $F_{10} \geq 8000$ h°C, kan utføres uisolert, med membran type III (tabell), ved $F_{10} < 8000$ h°C
F	Helhvelv av betongelementer	Frostisolasjon av XPS bak betongelementer Vannsikring med membran type III
Alle	Kontaktstøpt vann-/ frostsikringshvelv med membran, Alternativ, prosjektspesifikk løsning	Membran type II

Figur 2, tabell som viser bruksområder for ulike tunnelkledninger, definert som kjente løsninger [3].

Om utgangspunkt for denne studien sammenlignes XiiT med en kjent og mye brukt løsning i vegtunneler for tunnelprofil T9.5, og tunnelklasse D og E: Veggelementer av betong, med nettarmert sprøytebetong og frostisolering med PE-skum i heng. Figur 3 viser en skjematisk skisse av dette konseptet. For tunnelprofil T9.5 tilsvarer dette et teoretisk sprengningsprofil på 66.62 m^2 og et normalprofil på 53.61 m^2.



Figur 3 Skjematisk tunnelprofil for T9.5 med veggelementer av betong, nettarmert sprøytebetong og frostisolering med PE-skum i heng [4].

2.1 Jernbanetunneler

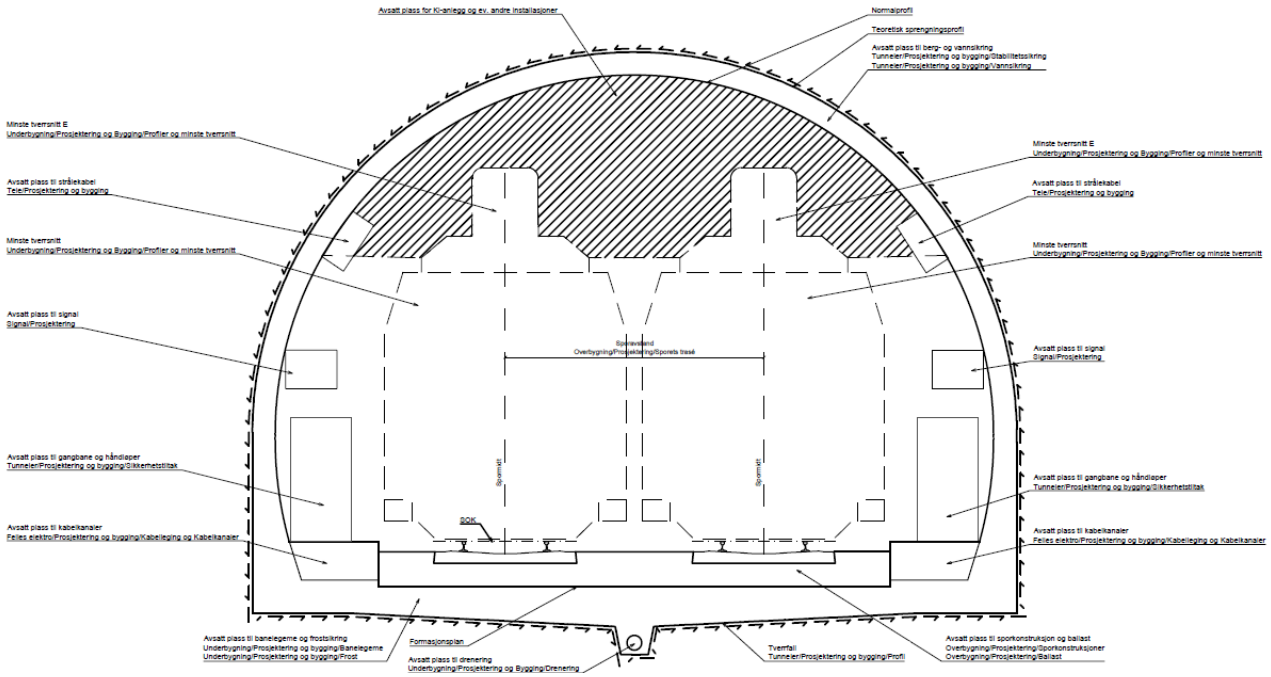
I teknisk regelverk for jernbanetunneler [5], er det spesifisert at én av følgende løsninger skal benyttes for vann- og frostsikring:

1. kontaktstøpt betonghvelv med membran
2. sprøytebetongkledning vanntettet med sprøytbar membran
3. betongsegmenter for TBM

Videre spesifiseres det at for tunneler med svært lite fukt og lekkasje bør det enkelte prosjekt gjøre sine vurderinger om det er tilstrekkelig med vannsikringsløsning kun over spor og tekniske installasjoner, eller om det er nødvendig med gjennomgående vannsikring. Det kan benyttes ulike vannsikringsløsninger for ulike deler av tunnelen.

Som hovedprinsipp skal det velges en vannsikringsløsning som kan monteres i direktekontakt med bergsikringen. Hovedbegrunnelsen for valget er at løsningen enkelt gir god oversikt over tilstanden på primærkonstruksjonen og global stabilitet, og ved at oppsprekking lett vil kunne oppdages. Installert har slike løsninger få mekaniske komponenter som kan feile, og gir med det god kontroll på både sikkerhet og korrektivt vedlikehold.

For denne studien sammenlignes XiiT med en kjent og mye brukt løsning for jernbanetunneler, kontaktstøpt betonghvelv med membran. Det tas utgangspunkt i tunnel med dobbeltspor bygget for hastigheter mellom 200 og 250 km/h med minimum sporavstand på 4.7 meter (spormidt). Dette tilsvarer et teoretisk sprengningsprofil på 125 m^2 og et normalprofil på 93 m^2. Tykkelse på plasstøpt betong er 30 cm, sprøytebetong og utjevningslag ca. 10 cm. Underbygningen vil beholdes lik.



Figur 4. Skjematisk tunnelprofil for jernbanetunnel med dobbeltspor [5].

2.2 Vann- og frostsikringsløsning for tunneler ved bruk av XiiT

XiiT kan monteres direkte på knøl, som betyr direkte på bergsikringssprøytebetongen, eller på bergoverflaten. Om det er ujevn kontur kan det påføres et utjevningslag, som gir et visuelt jevnere profil og forenkler monteringen. Det er også mulig å tildekke XiiT med sprøytebetong, om det ønskes at overflaten skal ha dette utseendet.

Regelverket for vegtunneler [3], er definert etter styrt profil, som beskrevet i kapittel 2.1. Likevel er det i dette studiet valgt å gjøre beregninger for XiiT montert i direktekontakt med bergsikringen, eller på knøl som det ofte omtales som. Hovedgrunnen til dette er følgende:

- Krever mindre utsprengt tverrsnitt for tunnelen.
- Gir god oversikt over tilstanden på global stabilitet av tunnelen, ved at deformasjoner lett vil kunne oppdages.
- Mindre påkjenning fra trykk- og sugkrefter fra kjøretøy, da det ikke er luftrom bak installasjonen.
- Mulighet for enkel og rask montering av vann- og frostsikring.
- Mindre ressurskrevende ved rutinemessige kontroller av tunnelkonstruksjonen, da dette ikke må utføres via inspeksjonsluker.
- Mindre CO_2-belastende.

For vegtunneler er det også utført beregning av CO_2-belastningen ved bruk av XiiT foam i hvelving, som direkte erstatning for PE-skum, i tråd med dagens regelverk.

For jernbanetunneler er det utført beregninger for XiiT montert i direktekontakt med bergsikringen. Som beskrevet i kapittel 2.2, er dette i tråd med hovedprinsippet i regelverket for vann- og frostsikring, som er at det skal velges en vannsikringsløsning som kan monteres i direktekontakt med bergsikringen.

For vegtunnel med XiiT foam montert på knøl, er følgende prinsipper satt:

- XiiT foam kan monteres rett på bergsikringsbetong og direkte på bergoverflaten (der bergsikring ikke har vært påkrevet).
- Monteres med stålbolter, syrefast stål 6x60 mm ved montering på sprøytebetong og 6X90 mm ved montering på berg.
- XiiT foam trekkes helt ned til drenering, der den dekkes av pukk
- Reduksjon av teoretisk profil på grunn av at XiiT er mindre plasskrevende: 7.37 m^3/m tunnel
- For å ivareta vegnormalens krav mhp. rekkverk, er det lagt til en føringskant av betong, med høyde på 0.9 meter.

For vegtunnel med bruk av XiiT foam i styrt profil, er følgende prinsipper satt:

- XiiT foam monteres på lik måte som PE-Skum og inngår som en direkte erstatning av PE-skum.

For jernbanetunnel med XiiT foam montert på knøl, er følgende prinsipper satt:

- XiiT foam kan monteres rett på bergsikringsbetong og direkte på bergoverflaten (der bergsikring ikke har vært påkrevet).
- Monteres med stålbolter, syrefast stål 6x60 mm ved montering på sprøytebetong og 6X90 ved montering på berg.
- XiiT foam trekkes helt ned til drenering, der den dekkes av pukk.
- Reduksjon av teoretisk profil på grunn av at XiiT er mindre plasskrevende: 28 m^3/m tunnel

Tabell 1 viser elementene som inngår i analysen for de ulike konseptene for vann- og frostsikring. Effekten fra av reduksjon av teoretisk profil inngår også i analysen, der reduksjon i uttak av bergmasse og sikringsmengder inngår.

Tabell 1, elementene som inngår i analysen for de ulike konseptene for vann- og frostsikring.

Kledningstype	Materiale	Tykkelse/mengde
Vegtunnel PE-hvelv T9,5 Tunnelklasse D og E	PE-skum	45 mm
	Nettarmering av stål (K131)	-
	Forankringsbolter	8 stk./lm tunnel (1.2x1.2)
	Brannsikker sprøytebetong med polypropylenfiber	80 mm
	Prefabrikkert betongelementer med XPS [6]	150 mm (betong)+ 50 mm (XPS)
XiiT Vegtunnel T9,5 Tunnelklasse D og E	XiiT foam	6 mm
	Forankringsbolter SB (6x60 mm)	33 stk./lm tunnel
	Forankringsbolter Berg (9x60 mm)	4 stk./lm tunnel
	Føringskanter av betong	0.45 m^3/m tunnel
Vegtunnel XiiT-hvelv T9,5 Tunnelklasse D og E	XiiT foam	6 mm
	Nettarmering av stål (K131)	-
	Forankringsbolter (1.5 m)	8 stk./lm tunnel (1.2x1.2)
	Brannsikker sprøytebetong med polypropylenfiber	80 mm
	Prefabrikkert betongelementer med XPS [6]	150 mm (betong)+ 50 mm (XPS)
Jernbanetunnel Dobbeltspor 200-250 km/t Full utstøpning med membran	Avretting sprøytebetong	10 mm
	Fiberduk nålefiltet 100% polypropylen [7]	Antatt ca. 0,6 kg/m2
	Membran type II i h.h.t. N500 [8]	50 mm
	Plasstøpt betong	300 mm
XiiT Jernbanetunnel Dobbeltspor 200-250 km/t	XiiT foam	6 mm
	Forankringsbolter SB (6x60 mm)	48 stk./lm tunnel
	Forankringsbolter Berg (9x60 mm)	5 stk./lm tunnel

2.3 Tidsbruk ved installasjon

I dette kapittelet sammenlignes tidsbruk av installasjon av XiiT med løsningene for vann- og frostsikring for veg- og jernbanetunneler som er definert i 2.1 Vegtunneler og 2.2 Jernbanetunneler. Ekvivalenttidsmodellen er et estimeringsverktøy utviklet for å beregne byggetiden for ulike typer tunneler der fremdriftshemmende aktiviteter (arbeid som pågår på stuff og hindrer fremdrift) vurderes for å beregnes i byggetiden. Ekvivalenttidsmodellen er i de senere årene oppdatert av NTNU i samarbeid med Statens vegvesen og Entreprenørsforeningen Bygg og Anlegg [9]. Den gir mulighet for å kunne beregne tidsbruk på individuelle operasjoner. For dette studiet brukes modellen og dataen tilgjengelig for forskjellige typer vann- og frostsikringsalternativer i vegtunneler hvor hver aktivitet har sin spesifikke kapasitet i antall utførte enheter per meter. Modellen spesifiserer videre hvilke aktiviteter som kan gjennomføres samtidig, eller delvis samtidig med andre aktiviteter. Enhetstider og samtidighetsfaktorer er basert på erfaringsdata.

Veggelementer av betong, med nettarmert sprøytebetong og frostisolering med PE-skum i heng er definert som kombinerte løsninger i ekvivalenttidsmodellen [9]. Tabell 2 viser enhetstider, samtidighetsfaktorer og en enhetstid knyttet til den kombinerte løsningen. Aktivitetene står i kronologisk rekkefølge.

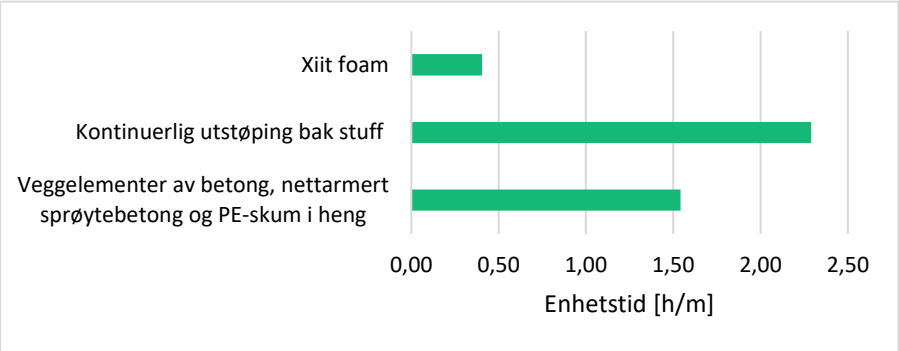
Samtidighetsfaktorene viser at bolteboring i stor grad (70%) kan gjøres samtidig med andre aktiviteter som etterfølger bolteboring, mens for eksempel nettarmering ikke kan gjennomføres samtidig med montering av PE-skum. Enhetstiden til installasjon av veggelementer av betong, med nettarmert sprøytebetong og frostisolering med PE-skum er 1,5425 h/m.

Tabell 2. Enhetstider, samtidighetsfaktorer og en enhetstid for den kombinerte løsningen [9].

	Enhetstid [h/m]	Samtidighetsfaktor [-]	Tidsbestemmende tid [h/m]
Fundament for hvelv	0.25	0.1	0.025
Bolteboring	0.1	0.3	0.03
Montering av bolter	0.14	0.7	0.14
Skinnemontering	0.1875	0.7	0.1875
Montering PE-skum	0.375	1	0.375
Nettarmering	0.4425	0.7	0.4425
Sprøytebetong	0.065	1	0.065
Veggelementer	0.2775	1	0.2775
Enhetstid, komb.løs.	-	-	**1.5425**

Kontinuerlig utstøping bak stuff er det vann- og frostsikringsalternativet i ekvivalenttidsmodellen som er mest sammenlignbar med kontaktstøpt betonghvelv med membran. Med en støptykkelse på 30 cm gir ekvivalenttidsmodellen en enhetstid på 2,3h/m. Installasjon av membran vil sannsynligvis ikke påvirke denne enhetstiden og installeres glidende før støpen. En samtidighetsfaktor på 0 antas for installasjon/festing av membran. Enhetstiden gjelder for kontaktstøp med en tunnellengde over 10 meter.

En enhetstid for montering av XiiT foam er enn så lenge ikke etablert, og SINTEF har derfor basert foreliggende estimat på data fra leverandøren av XiiT. SINTEF har fått følgende erfaringstall fra XiiT; kapasitet på 500m^2 per skift med 3 mann og 1 kurv. I konseptet for XiiT i dette studiet regnes det med et areal på 20,25 m^2 XiiT per meter tunnel. Omregnet er enhetstiden for XiiT foam 0,405h/m som etter SINTEF's oppfatning syntes rimelig gitt de arbeidsoppgaver som utgjør selve installasjonen. Dermed har XiiT en signifikant lavere enhetstid enn løsningene for vann- og frostsikring for veg- og jernbanetunneler som er definert i 2.1 Vegtunneler og 2.2 Jernbanetunneler (Figur 5).



Figur 5. Sammenligning av enhetstid for XiiT med løsningene for vann- og frostsikring for veg- og jernbanetunneler som er definert i 2.1 Vegtunneler og 2.2 Jernbanetunneler.

2.4 Klimagassutslipp

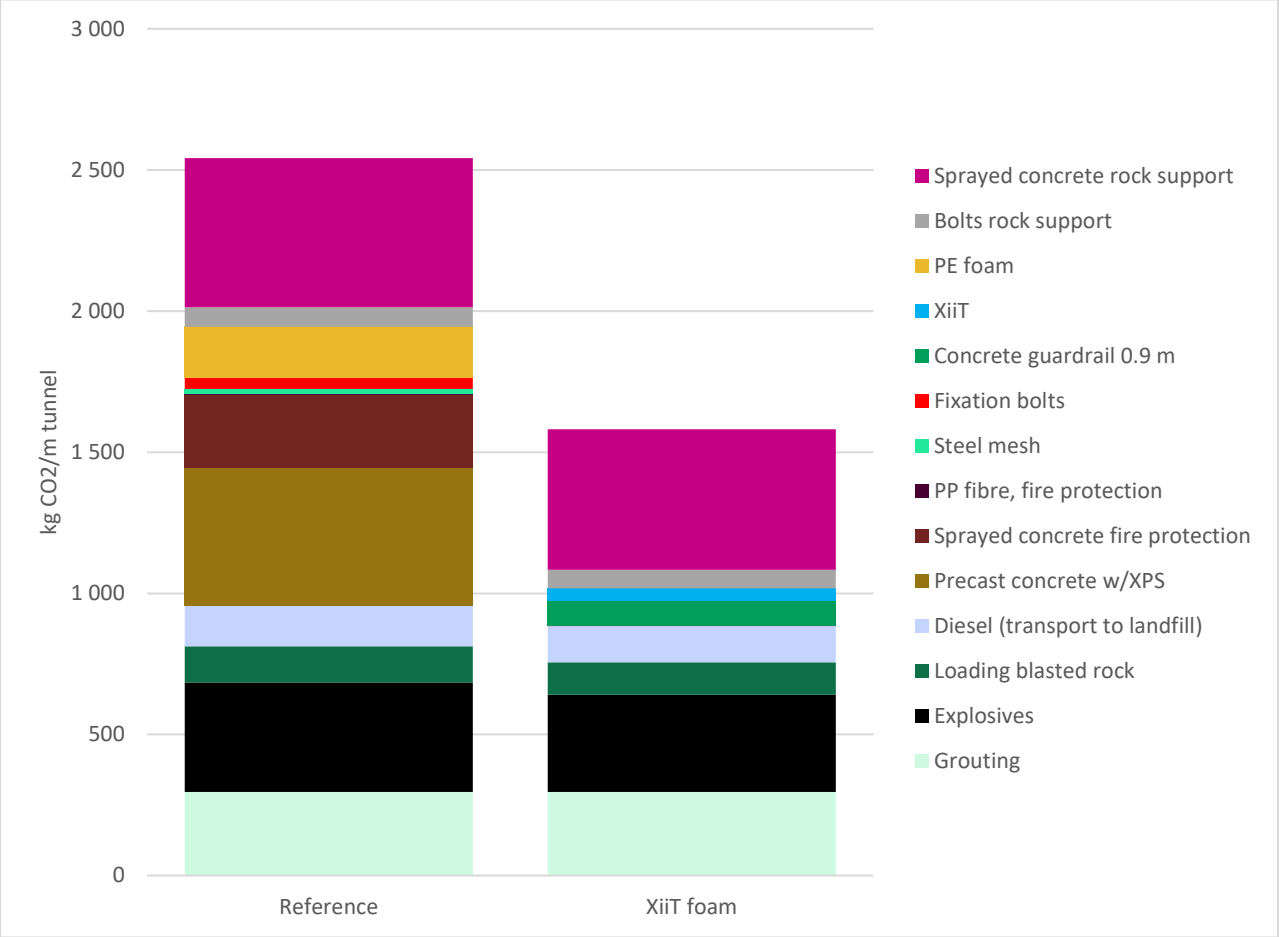
Infrastrukturprosjekter har betydelig innvirkning på miljøet. Tunneldriving og tilhørende konstruksjoner i en moderne infrastrukturtunnel består av flere elementer som har potensial for betydelig reduksjon i klimagassutslipp. De materialene som bidrar mest til klimaendringer fra tunneldriving er betong, stål og masseforflytting. Flere prosjekter og enkelttiltak har vært prøvd, f.eks. bruk av lav-karbonbetong, sprøytebetong, bruk av nye materialer og mer effektiv massehåndtering. En mer effektiv og miljøvennlig tunnelbygging er et tiltak for bærekraftig transportsektor. Ettersom tunnel er en materialintensiv konstruksjon så er det viktig å teste ut nye løsninger. XiiT løsningen kan redusere bruken av betong og gir besparelser knyttet til sprengingsvolum og utdriving som igjen kan redusere påvirkning på naturmiljøet, samt redusere støv og utslipp fra selve tunnelsalvene. Redusert sprengingsvolum gir redusert massehåndtering som igjen gir en positiv klima- og miljøeffekt.

For å beregne utslippene ved ulike vann- og frostsikringsmetoder og sammenlikne med XiiT foam har SINTEF brukt tall på utslippsfaktorer som er åpent tilgjengelig fra EPDer, VegLCA [10] eller andre åpne kilder og resultatene er oppgitt som samlet utslipp per meter tunnel.

Portalene er utelatt fra denne beregningen da portalene er helt spesielle elementer i en infrastrukturtunnel og ikke er relevant i en slik sammenligning som SINTEF utfører her. I tillegg er brannsperrer utelatt fra beregningen da dette utgjør en liten andel og for beregningen i referansetunnelen vil de kun øke utslippene marginalt, og det vil igjen være til fordel til XiiT-løsningen.

For referansetunnelen har SINTEF benyttet tidligere studier for en teoretisk tunnel [10]. Kalkulasjonen for utslipp fra XiiT løsningen er basert på teoretiske tall som produsenten/leverandøren i Norge har oppgitt. Dokumentasjon på materialegenskaper er gitt gjennom tekniske krav og EPD for XiiT. Tall og forskjell i tallgrunnlag for løsningene det er beregnet for i dette studiet er gitt i Tabell 1.

Resultat fra klimagassberegningen for vegtunnel viser at utslipp fra tunneldriving, sikring, og vann- og frostsikring, kan reduseres med totalt 33 % ved å unngå såkalt styrt profil med frittstående vann- og frostsikringshvelv og heller benytte XiiT montert i direktekontakt med bergsikringen. Dette er hovedsakelig fordi det ikke er behov for prefabrikkerte betongelementer. Betongelementene står for nærmere 489 kg CO_2/lm tunnel. Figur 6 viser klimagassutslipp fra de to alternative løsningene, og viser klart at XiiT montert i direktekontakt med bergsikringen, altså på knøl, gir en betydelig reduksjon i utslipp. Hovedandelen av reduksjonen skjer ved å fjerne prefabrikkerte veggelementer av betong, men også sprøytebetongen for brannsikring av PE-skum og PE-skummet har et betydelig bidrag.

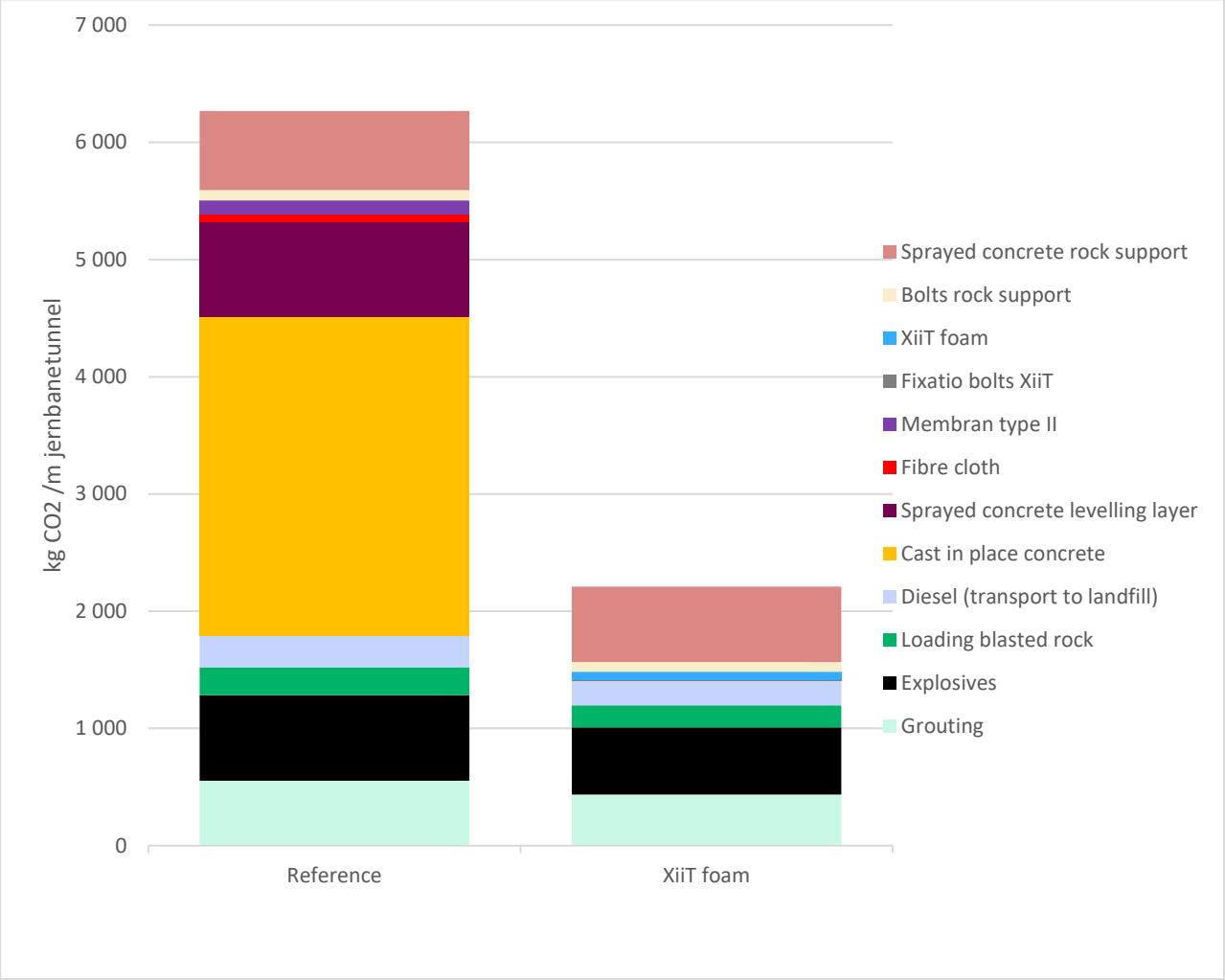


Figur 6, klimagassutslipp per meter vegtunnel (T9.5), inkludert sprengning, uttak av masse, berginjeksjon, bergsikring, samt og vann- og frostsikring for en typisk vegtunnel. Portalene er ekskludert.

Det har over lang tid vært et ønske om å erstatte PE-skum med andre produkter, spesielt med hensyn på brannsikkerhet. Det er derfor utført en beregning for en løsning hvor PE-skum direkte byttes ut med XiiT foam. Ettersom betong er hovedkilden til klimagassutslippene og at både PE-skum og XiiT foam i seg selv utgjør en svært liten andel av totalutslippene, er det ingen betydelig forbedring i et CO_2-perspektiv, å benytte XiiT i eksisterende konsept for vegtunneler med styrt profil, men en liten forbedring er det. Forskjellen er at PE-skum har et utslipp på 14.6 kg CO_2/ m^2, mens XiiT har et utslipp på 2,21 kg CO_2/ m^2. Det ansees som viktigere å finne løsning(er) som fjerner behovet for vann- og frostsikringshvelv.

Om det påføres 80 mm sprøytebetong over XiiT foam montert i direktekontakt med bergsikringen i en vegtunnel med T9.5, vil dette medføre en økning på 423 kg CO_2/ lm tunnel i forhold til løsningen uten.

For dobbeltspor jernbanetunnel er det antatt som følger; det benyttes plasstøpt betong og ikke prefabrikkerte elementer, samt at det ikke benyttes PE-skum. Dette ettersom det er plasstøpt betong i hele tunnelprofilet. Eksempelet med jernbanetunnel inkluderer fiberduk (antatt 600 gr/m^2), samt membran. Beregningen for jernbanetunnel bekrefter beregningen for vegtunnel der plasstøpt betonghvelv er hovedkilden til utslipp etterfulgt av sprøytebetong. Ved å erstatte den beskrevne løsningen for jernbanetunneler gir en løsning med XiiT foam en reduksjon på ca. 65%, Figur 7.



Figur 7. klimagassutslipp per meter dobbeltspor jernbanetunnel, inkludert sprengning, uttak av masse, berginjeksjon, bergsikring, samt og vann- og frostsikring for en typisk vegtunnel. Portalene er ekskludert..

Samlet konstateres at for både veg- og jernbanetunneler viser beregningene SINTEF har utført at en vann- og frostsikringsløsning ved bruk av XiiT foam montert i direktekontakt med bergsikringen kan bidra til betydelig reduksjon av klimagassutslipp og føre transportsektoren nærmere nullutslippsløsningene. For begge beregningene er transportdistansen for masser fra tunnel til deponi satt til 10 km. Masseforflytting, både internt på anleggsplassen og bort fra anleggsplassen kan imidlertid utgjøre en betydelig forskjell i forhold til klimagassutslipp.

2.5 Branntester av Xiit/foam

SINTEF har ikke utført branntesting av materialet, men vurderingen er basert på dokumentasjon gitt fra leverandører samt erfaringer og testing fra andre europeiske land legges til grunn.

I henhold til informasjon som er blitt forelagt fra leverandøren er XiiT foam blitt testet utenfor Norge i henhold til EN 13823. Basert på EN 13501-1 ble Zetatunel Alu 12 mm, som ifølge XiiT tilsvarer XiiT foam 12 mm, klassifisert som brannklasse B-s2, d0. Branntest av Zetatunel Alu 6 mm, som ifølge XiiT tilsvarer XiiT foam 6 mm, ble klassifisert i hht EN 13501-1 som B-s1, d0. Tabell 3 gir en beskrivelse av brannklassifiseringen.

Produktet er sammensatt av tre ulike lag, og klassifiseringen gjelder for det sammensatte produktet der det eksponerte laget med tverrbundet fiberduk mot trafikken gir mekanisk motstand. Videre, det midtre laget med polyfinn skum gir ønsket nivå av termisk isolasjon. Det innerste laget med aluduk med riller vender mot bergoverflaten (evt. bergsikrings-sprøytebetongen) og gir mekanisk motstand, drenering og utgjør en sveisbar overflate. Produktet er anvendt uten brannsikring i infrastrukturprosjekter i Europa basert på denne klassifiseringen, ved for eksempel 'The CADI tunnel project' i Spania.

Tabell 3. Beskrivelse av brannklassifisering i EN-13501-1.

B	Brennbart materiale, men med begrenset bidrag til brann
s1	Ingen, eller lite røykproduksjon
s2	Begrenset røykproduksjon
d0	Ingen brennende dråper eller partikler

I følge A. Brandt Consulting [12] er det utført korrelasjonstester mellom de to testmetodene ISO 9705-1 og NS-EN 13823 som sitat; « ….viser at det er god korrelasjon mellom de to testmetodene.» I følge Brandt,så konkludere han, sitat; «….med bakgrunn i dette så burde dokumentasjonen som er fremlagt for XiiT-Foam hvor dette produktet er testet i henhold til NS-EN 13823 ….. kunne gi grunnlag for å akseptere XiiT-Foam som å oppfylle likeverdige krav som de gitt i Vegnormal N500….». Totalt sett, dette innebærer også tilfredsstillelse av intensjonen i N500 gitt i Krav 5.4.1-2.

Det anses ikke som relevant å teste brannmotstand eller integritet ved brann for produktet ettersom dets funksjon som vann- og frostsikring ikke skal beskytte noe bakenforliggende eller bære annet enn seg selv under brann. XiiT er ikke en bærende konstruksjon.

2.6 Oppsummering

Resultatene for vurdering av reduksjon av klimagassutslipp og tidsforbruk for XiiT foam montert i direktekontakt med bergsikringen viser et betydelig potensial og oppsummeres under.

<u>Vegtunnel:</u>

- 33 % reduksjon i CO_2-utslipp
- Reduksjon i enhetstid på installasjon av vann- og frostsikring på ca. 1,14 h/m tunnel

Referansen benyttet for vegtunnel er profil T9.5, Tunnelklasse D og E, med prefabrikkerte betongelementer i vegger og PE-hvelv.

Om det påføres 80 mm sprøytebetong over XiiT, vil dette medføre en økning på 423 kg CO_2/ lm tunnel i forhold til den opprinnelige løsningen. Fortsatt gir denne løsningen en betydelig reduksjon i CO_2-utslipp, sammenlignet med dagens hvelvbaserte løsning, da den reduserer uttak av masse, bruk av sprengstoff, sikringsmengder, samt at prefabrikkerte betongelementer utgår fra vann- og frostsikringsløsningen.

<u>Jernbanetunnel:</u>

- 65 % reduksjon i CO_2-utslipp
- Reduksjon i enhetstid på installasjon av vann- og frostsikring på ca. 1,9 h/m tunnel

Referansen benyttet for jernbanetunnel er dobbeltsportunnel, med et teoretisk sprengningsprofil på 125 m^2 og et normalprofil på 93 m^2. Med vann- og frostsikring i form av membran og kontaktstøpt betonghvelv.

Følgende generelle vurdering gjøres i forhold til kostnadsbesparelser:

- Reduksjon i enhetstidene gir betydelig reduksjon i kostbar byggetid.
- Betong er ikke bare CO_2-belastende, men har høy materialkost. Redusert betongbruk vil derfor ha betydelig innvirkning på de totale materialkostnadene.
- Redusert uttak av masse, bruk av sprengstoff og sikringsmengder vil også bidra til kostnadsbesparelser.

Utfordringen med regelverket for vegtunneler er at det sikter mot hvelv-baserte løsninger. Hovedkilden til CO_2-utslipp i forbindelse med vann- og frostsikring er bruk av nettopp betong i slike løsninger. Det er derfor viktig at konseptet med hvelv-baserte løsninger utfordres, for å kunne redusere CO_2-utslipp i forbindelse med tunnelbygging. Konsepter som baserer seg på bergnære løsninger (løsninger som er montert på knøl) bør fremheves, da slike løsninger kan gi en betydelig gevinst med hensyn på byggetid, levetid, kostnader og CO_2-belastning. Fordelene med XiiT bør sees i dette perspektivet.

Fordeler med vann- og frostsikringsløsninger montert i direktekontakt med bergsikringen/bergoverflaten:

- Krever mindre utsprengt tverrsnitt for tunnelen.
- Gir god oversikt over tilstanden på global stabilitet av tunnelen, ved at deformasjoner lett vil kunne oppdages.
- Mindre påkjenning fra trykk- og sugkrefter fra kjøretøy, da det ikke er luftrom bak konstruksjonen.
- Mulighet for enkel og rask montering av vann- og frostsikring.
- Mindre ressurskrevende ved rutinemessige kontroller av tunnelkonstruksjonen, da dette ikke må utføres via inspeksjonsluker.
- Mindre CO_2-belastende.
- Mulig å utelate vann- og frostsikring i områder der det ikke er behov for dette.

Tekniske regelverk for jernbanetunneler har derimot som hovedprinsipp at det skal velges en vannsikringsløsning som kan monteres i direktekontakt med bergsikringen. XiiT kan således være en egnet løsning, spesielt for å erstatte full utstøpning av hvelv.

XiiT foam (Zetatunel Alu 12 mm) har brannklasse B-s2, d0 mens Zetatunel Alu 6 mm, som ifølge XiiT tilsvarer XiiT foam 6 mm, ble klassifisert som B-s1, d0.

Xiit foam er et gunstig alternativ til dagens løsninger i veg- og jernbanetunneler.

3 Referanser

[1] XiiT, «XiiT foam datablad,» XiiT AS, 2023.

[2] SVV, «Hvordan foregår tunneldriving?,» Statens Vegvesen, 2022. [Internett]. Available: https://www.vegvesen.no/vegprosjekter/europaveg/e16barum/nyhetsarkiv/hvordan-foregar-tunneldriving/ . [Funnet 15 05 2024].

[3] SVV, «N500 Vegtunneler,» SVV Vegdirektoratet, 2022.

[4] SVV, «Fagrapport Anleggsgjennomføring, E16 og Vossebanen, Arna-Stanghelle,» SVV, 2020.

[5] Bane NOR, «Teknisk Regelverk, Tunneler -Portaler og vannsikring,» 2024. [Internett]. Available: https://trv.banenor.no/wiki/Tunneler/Prosjektering_og_bygging/Portaler_og_vannsikring. [Funnet 21 05 2024].

[6] NEPD-351-243-NO, «Element for samferdselstunneler med 150mm tykkelse i betong og 50mm XPS 200 kpa isolasjon,» EPD Norge, 2015.

[7] EPD, «Votec Fiberduk Geotextile,» 2023. [Internett]. Available: https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/5fd9a9f7-64ba-42e5-ae25-08dbbea226bc/Data. [Funnet 02 07 2024].

[8] EPD, «EPD-SIO-20220324-IBJ1-EN 1m² of Type II technical textile,» 2023. [Internett]. Available: https://csr.sioen.com/media/pages/actions/leading-the-way-with-epd-certified-products/fbdef97f45-1688734210/1m-of-type-ii-technical-textile.pdf. [Funnet 02 07 2024].

[9] E. Hedenstad og T. Stoltenberg, «Byggetid for vegtunneler,» NTNU, Trondheim, 2014.

[10] G. Peñaloza, K. G. Holter, H. R. Vignisdottir og E. Grøv, «Greenhouse gas emission reduction from innovative sprayed concrete,» i *9th International symposium on sprayed concrete modern use of wet mix sprayed concrete for underground support 17. – 20. june 2024*, Sandefjotd, 2024.

[11] SVV, «PE-hvelv med føringskant av betong tunneltverrsnitt T9,5 (original),» 2017. [Internett]. Available: https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/teknologi/tunneler/pe-hvelv-med-foringskant-av-betong-tunneltverrsnitt-t9-5.pdf. [Funnet 22 05 2024].

[12] A. Brandt Consulting 02.02.2025 «Vurdering av krav gitt i N500 opp mot Europeiske krav»

EPD-er brukt i studien

UNICON spøytebetong: EPD_52246 B35 M45
PP fiber: NEPD-1382-447
Betong elementer med XPS: NEPD-351-243-NO
Utslipp fra diesel: Generic
Grouting material: NEPD-3119-1781
PE foam: NEPD-2915-1608-EN
Betong, stålfiber: NEPD-3689-2636
Explosives: NEPD-2955-1648-EN
Steel bolts: NEPD-2562-1295-EN