SITOWISE

H4b-törmäyskestävyysluokan kaiteen asennus olemassa oleville tiesilloille

Opinnäytetyö, AMK

IIRO TÖRMÄ

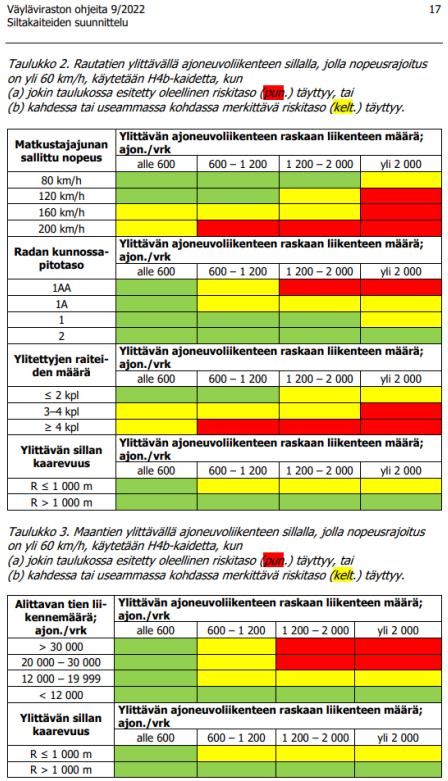
Yleistiedot

Oppilaitos:	LAB-ammattikorkeakoulu, rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus
Tilaajat:	Sitowise Oy Väylävirasto
Työn ohjaajat:	Jani Valokoski (SW) Mikko Peltomaa (Väylä) Timo Tirkkonen (Väylä) Antti Roiha (LAB)
Julkaistu:	5/2023

SITOWISE

Työn tausta

- Liisa Vesalon ja Jami Hirvosen opinnäytetyöt
  - Sillan reunapalkin rakenneanalyysi kaidetörmäykselle (Vesalo 2022, Savonia)
  - Kaidetörmäyksen vaikutukset betonisella laattapalkkisillalla (Hirvonen 2020, JAMK)
- Siltakaiteiden suunnitteluohje (Väylävirasto 2022)
  - Tuore päivitys vuoden 2012 ohjeeseen
  - Liikennevalotaulukot kaiteen valintaan



Väyläviraston ohjeita 9/2022 17
Siltakaiteiden suunnittelu

Taulukko 2. Rautatien ylittävällä ajoneuvoliikenteen sillalla, jolla nopeusrajoitus on yli 60 km/h, käytetään H4b-kaidetta, kun
(a) jokin taulukossa esitetty oleellinen riskitaso (your.) täyttyy, tai
(b) kahdessa tai useammassa kohdassa merkittävä riskitaso (kelt.) täyttyy.

Matkustajajunan sallittu nopeus	Ylittävän ajoneuvoliikenteen raskaan liikenteen määrä; ajon./vrk			
	alle 600	600 – 1 200	1 200 – 2 000	yli 2 000
80 km/h				
120 km/h				
160 km/h				
200 km/h				
Radan kunnossa-pitotaso	**Ylittävän ajoneuvoliikenteen raskaan liikenteen määrä; ajon./vrk**			
	alle 600	600 – 1 200	1 200 – 2 000	yli 2 000
1AA				
1A				
1				
2				
Ylitettyjen raitei-den määrä	**Ylittävän ajoneuvoliikenteen raskaan liikenteen määrä; ajon./vrk**			
	alle 600	600 – 1 200	1 200 – 2 000	yli 2 000
≤ 2 kpl				
3–4 kpl				
≥ 4 kpl				
Ylittävän sillan kaarevuus	**Ylittävän ajoneuvoliikenteen raskaan liikenteen määrä; ajon./vrk**			
	alle 600	600 – 1 200	1 200 – 2 000	yli 2 000
R ≤ 1 000 m				
R > 1 000 m				

Taulukko 3. Maantien ylittävällä ajoneuvoliikenteen sillalla, jolla nopeusrajoitus on yli 60 km/h, käytetään H4b-kaidetta, kun
(a) jokin taulukossa esitetty oleellinen riskitaso (your.) täyttyy, tai
(b) kahdessa tai useammassa kohdassa merkittävä riskitaso (kelt.) täyttyy.

Alittavan tien lii-kennemäärä; ajon./vrk	Ylittävän ajoneuvoliikenteen raskaan liikenteen määrä; ajon./vrk			
	alle 600	600 – 1 200	1 200 – 2 000	yli 2 000
> 30 000				
20 000 – 30 000				
12 000 – 19 999				
< 12 000				
Ylittävän sillan kaarevuus	**Ylittävän ajoneuvoliikenteen raskaan liikenteen määrä; ajon./vrk**			
	alle 600	600 – 1 200	1 200 – 2 000	yli 2 000
R ≤ 1 000 m				
R > 1 000 m				

Suomen tieverkolla on joukko siltoja, joiden nykyiset kaiteet eivät vastaa uuden suunnitteluohjeen asettamia vaatimuksia kaiteen törmäyskestävyydelle.

SITOWISE

Työn sisältö

- Teoriapohjaa
  - Siltakaide ja sen tehtävät, törmäyskestävyys ja sen luokittelu
  - Kaidetörmäyksen voimasuureet
  - H4b-kaidetuotteita
  - Uuden ohjeen perusteella H4b-kaiteita tarvitsevat siltakohteet
- Kaidetörmäyksen staattinen analyysi
  - Törmäystilanteen kuormat ja siltakannen mallinnus
  - Reunapalkin mitoitus H4b-kaiteelle
- Siltakannen kapasiteetti törmäystilanteessa
  - Törmäyksen aiheuttamat rasitukset, siltakannen käyttöasteen laskenta
  - Reunapalkin halkeilun ja palkkisillan epäkeskisyyden vaikutusten tarkastelu

Sisällys

1 Johdanto ... 1
2 Siltakaide ja kaidetörmäys ... 3
2.1 Siltakaiteen tehtävät ja rakenne ... 3
2.2 Kaiteen törmäyskestävyysluokitus ... 3
2.3 Kaidetörmäyksen aiheuttamat voimat ... 6
3 Tarkasteltavat siltakohteet ja kaidetuotteet ... 9
3.1 H4b-kaiteen tarve nykyisillä silloilla ... 9
3.1.1 Siltojen nykyiset kaiteet ... 9
3.1.2 Jatkotarkasteluihin valitut periaaterakenteet ... 12
3.2 H4b-kaidetuotteita ... 12
3.2.1 Birsta 3PH4b siltakaide ... 13
3.2.2 Nordic R H4b siltakaide ... 14
3.2.3 KREMSBARRIER 3 RH4 siltakaide ... 14
4 Kaidetörmäyksen staattinen analyysi ... 16
4.1 Törmäystarkastelun rajaus ... 16
4.2 Törmäystilanteen kuormat rakenteessa ... 16
4.3 Reunapalkin mitoitus H4b-kaidejärjestelmälle ... 17
4.4 Siltakannen mallinnus kaidetörmäykselle ... 21
5 Siltakannen kapasiteetti törmäystilanteessa ... 27
5.1 Kaidetörmäyksen aiheuttamat rasitukset rakenteessa ... 27
5.2 Rakenteen käyttöaste törmäystilanteen kuormille ... 30
5.3 Reunapalkin halkeilun vaikutus reunaulokkeen poikkisuuntaisiin rasituksiin ... 31
5.4 Laskentamallin epäkeskisyyden vaikutus palkkisillan rasituksiin ... 33
6 Yhteenveto, johtopäätökset ja pohdinta ... 35
Lähteet ... 37

Liitteet

Liite 1. Laatan käyttöaste taivutukselle

Liite 2. Laatan käyttöaste leikkaukselle

Työn tavoitteena on antaa yleisen tason käsitys olemassa olevien teräsbetonisten siltojen kyvystä ottaa vastaan H4b-törmäyskestävyysluokan kaidetörmäyskuormia.

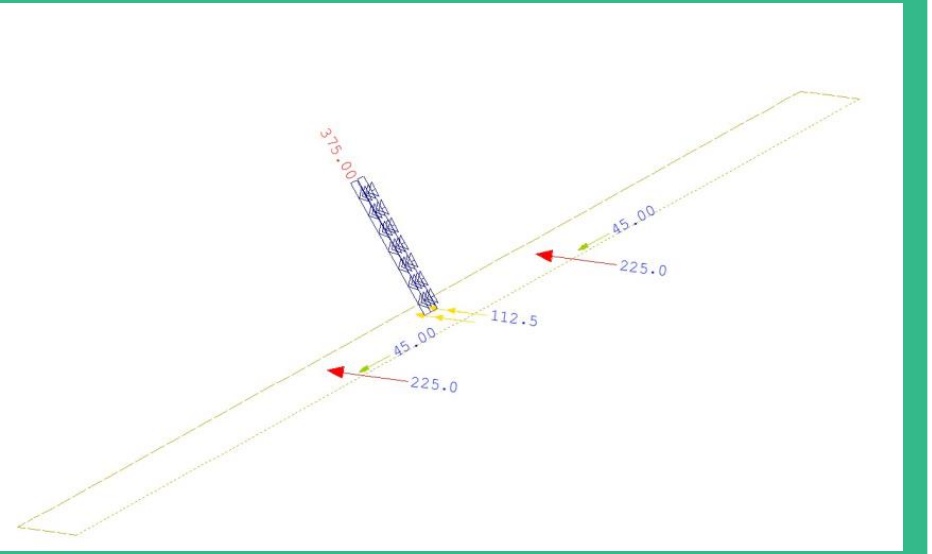
SITOWISE

Työn rajaukset

- Ei tehty dynaamista törmäystarkastelua
  - NCCI 1 mukainen yksinkertaistettu staattinen menetelmä
- Reunapalkin ja kansilaatan/reunaulokkeen liitoksen kestävyyttä ei tarkasteltu
  - H4b-kaiteeseen siirryttäessä todennäköisesti uusitaan reunapalkki samalla, liitoksen mahdollinen vahventaminen hoituu siinä yhteydessä.
- 3 kpl esimerkkirakenteita, joita tarkasteltu
  - Valittu lähtöaineistosta yleisyyden perusteella
- Eri H4b-kaidetuotteiden eroja ei ole huomioitu
  - Käytetty kaiteen omapaino ja kiinnitystapa perustuu Birsta P3H4b-kaiteeseen
- Rakenteiden vaurioita ei huomioitu laskennassa

SITOWISE

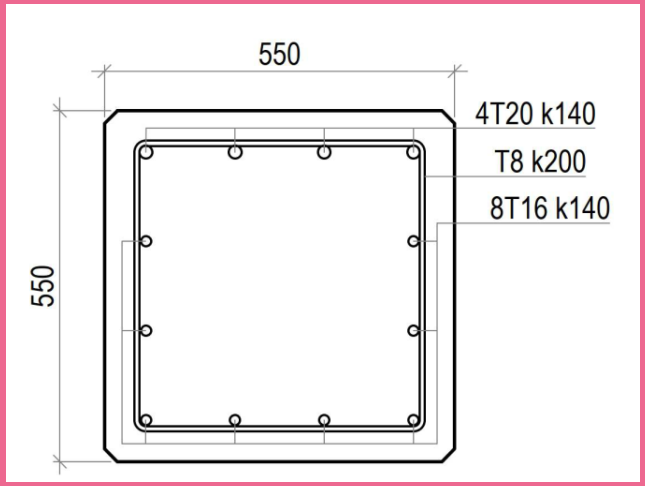
Törmäyksen FEM-laskenta



- Kuormat NCCI 1 mukaisesti onnettomuusrajatilassa
  - H4b:lle törmäyskohdan kaidetolpalla **450 kN** leikkaus poikkisuuntaan ja **90 kNm** momentti rp:n pituusakselin ympäri. Viereisille kaidetolpille 50 % näistä arvoista.
  - Reunapalkin yläpinnalle törmäyskohtaan rengaskuorma LM1-kaaviosta
  - Rakenteiden omapainot (betoni + päällysteet + kaiteet)
- Kuljetettiin törmäyspistettä reunapalkilla sillan päästä päähän 0,5 m intervallilla ja tehtiin SOFiSTiK-ohjelmistolla verhokäyrät
  - Tarkasteltavat suureet taivutusmomentti ja leikkausvoima

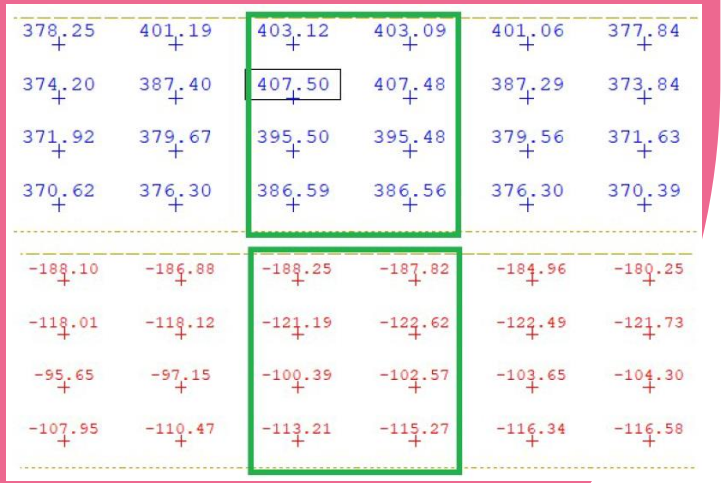
SITOWISE

Reunapalkin mitoitus



- Reunapalkin leveys 550 mm kaidetoimittajan suosituksen mukaisesti
- Reunapalkin korkeus 550 mm jo toteutettujen H4b-kaiteellisten kohteiden perusteella
- FEM-laskennalla mitoittavat voimat
  - Momentille 219 kNm, jänteen keskellä
  - Leikkaukselle 72,3 kN, 2 m sillan päästä
- Momentin vaatima raudoitusmäärä 4x20 mm rasitetussa pinnassa, mahtuu hyvin 550 mm poikkileikkaukseen
- Leikkauskestävyys saavutetaan jo momentin vaatimalla pääraudoituksella, joten käytetään NCCI 2 mukaista minimihakaraudoitusta T8 k200.

-> Valittu reunapalkin koko on OK.

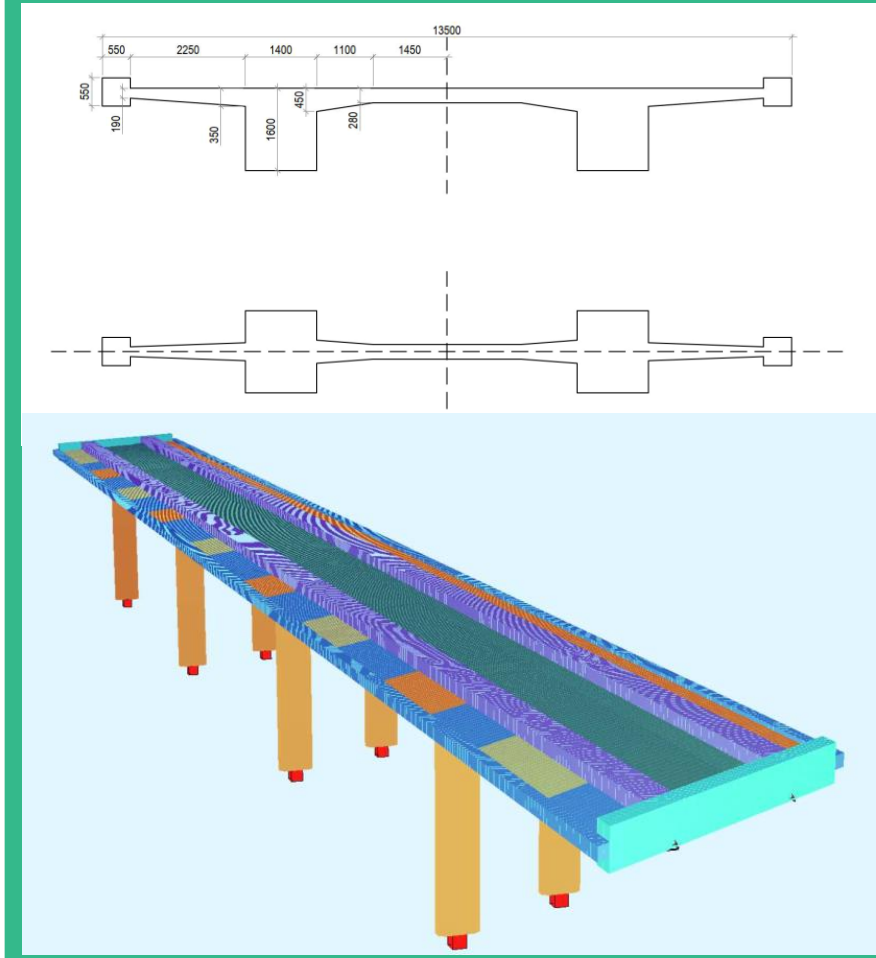


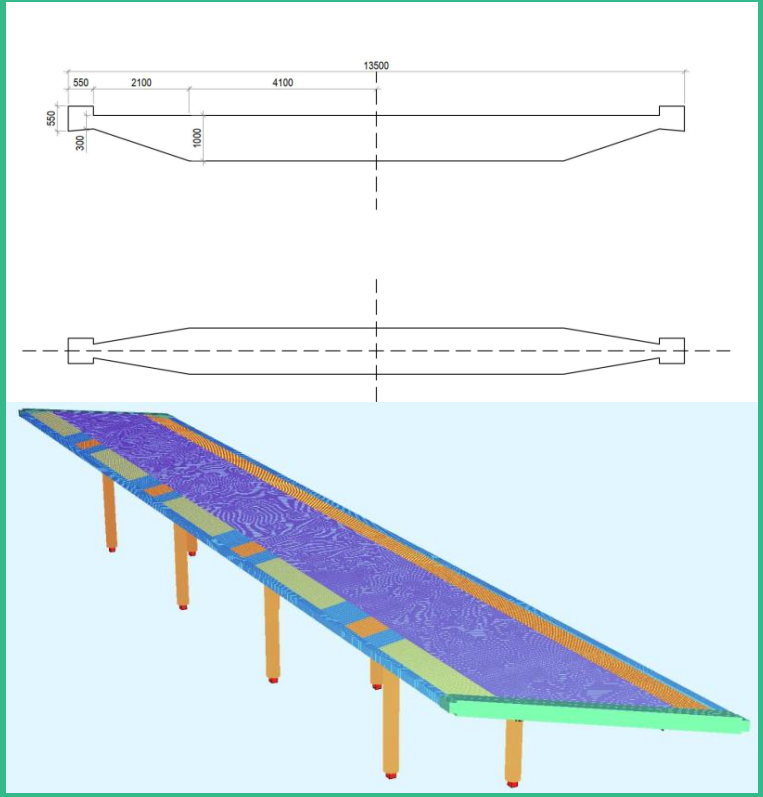
378.25	401.19	403.12	403.09	401.06	377.84
374.20	387.40	407.50	407.48	387.29	373.84
371.92	379.67	395.50	395.48	379.56	371.63
370.62	376.30	386.59	386.56	376.30	370.39
-188.10	-186.88	-188.25	-187.82	-184.96	-180.25
-118.01	-118.12	-121.19	-122.62	-122.49	-121.73
-95.65	-97.15	-100.39	-102.57	-103.65	-104.30
-107.95	-110.47	-113.21	-115.27	-116.34	-116.58

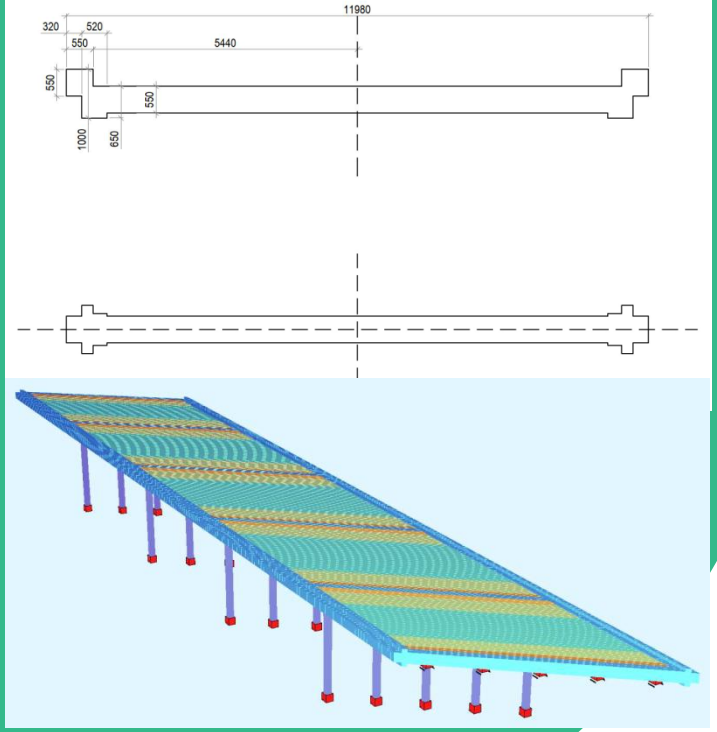
SITOWISE

Esimerkkirakenteet

Valittiin ylikulku- ja risteyssiltoja, jotka täyttävät uuden kaideohjeen vaatimukset H4b-kaiteiden käytölle.







SITOWISE

Siltakannen kapasiteetti törmäystilanteessa

- FEM-mallit piirustusten pohjalta, päällysrakenne kuorielementeistä ja välituet pilarielementteinä
  - Törmäyksen puoleinen reunauloke jaettiin pituussuunnassa alueisiin poikkisuuntaisen raudoitusmäärän mukaan
- Törmäystilanteen kuormat kuten edellä
- Tulosten jatkokäsittely
  - Datan ryhmittely ja siivous
  - Vääntömomenttitarkastelu vertaamalla betonin vääntökestävyyteen
    - Vääntökestävyys kaikkialla suurempi kuin vääntömomentti, joten ei huomioitu käyttöasteita laskettaessa
- Laskettiin käyttöasteet silloille alueittain

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	QUAD	MXY [kNm/m]	h [mm]	Tc [kNm/m]	MdXY				
2	2200561	26.07	340.0	73.38	0		0	maksimi (MdXY)	
3	2200562	26.01	340.0	73.38	0				
4	2300196	25.93	340.0	73.38	0				
5	2200563	25.84	340.0	73.38	0				
6	2300018	25.69	340.0	73.38	0				
7	2300017	25.66	340.0	73.38	0				
8	2200564	25.62	340.0	73.38	0				
9	2300195	25.53	340.0	73.38	0				
10	2300145	25.51	340.0	73.38	0				
11	2300146	25.33	340.0	73.38	0				
12	2200565	25.30	340.0	73.38	0				
13	2300147	24.99	340.0	73.38	0				
14	2200566	24.91	340.0	73.38	0				
15	2300016	24.88	340.0	73.38	0				
16	2300194	24.67	340.0	73.38	0				
17	2300148	24.67	340.0	73.38	0				

Betonin vääntökestävyys on

$$T_c = 0{,}12 \cdot f_{ctd} \cdot W_{tr}$$

$$W_{tr} = \frac{1}{3} h^2$$

U-2616, kansilaatta		
Kenttä		
MY	40.52	69.00 %
VY	36.26	20.54 %
Tukien ympäristö		
MY	108.07	92.93 %
VY	127.14	72.02 %

T-2402, reunauloke		
Kenttä		
MY	183.34	27.84 %
VY	184.46	50.67 %
Tukien ympäristö		
MY	235.37	18.31 %
VY	107.44	29.51 %
Tuet		
MY	288.72	15.41 %
VY	244.45	60.34 %

T-2456, reunauloke		
Kentän keskialue		
MY	89.50	29.51 %
VY	53.97	36.64 %
Tukien ja kentän keskialueen välimaasto		
MY	104.77	32.57 %
VY	52.94	35.96 %
Tuet		
MY	141.25	39.57 %
VY	86.56	58.84 %
Kannen terävän päädyn alue		
MY	84.46	27.85 %
VY	69.46	47.16 %

SITOWISE

Lisätarkasteluja

Reunapalkin halkeilun vaikutus

- Simuloitiin reunapalkin halkeilua puolittamalla materiaalin kimmomoduulin arvo
- Tarkasteltiin palkkisillan FEM-mallissa vaikutuksia reunaulokkeen rasituksiin
- Mitoittava taivutus kasvoi välituilla 2 % ja jänteellä 10%
- Mitoittava leikkaus kasvoi jänteellä 9 % ja pieneni välituilla 1 %

Palkkisillan mallin epäkeskisyys

- Haluttiin arvioida keskeisesti mallinnettujen palkkien vaikutusta FEM-laskentaan
- Luotiin malli jossa palkit epäkeskisesti laskentatason alapuolella ja vertailtiin laskennan tuloksia
- Keskeisellä mallilla mitoittavat voimat n. 5 % suurempia
- Todettiin, että käytetty keskeinen malli antaa turvallisella puolella olevia käyttöasteita rakenteelle

SITOWISE

Johtopäätökset ja pohdintaa

- Uudemmat, 90-luvun betonisillat vaikuttavat kestävän H4b-törmäyskuormia hyvin
- Vanhemmat sillat ovat riskikohteita
  - Tässä työssä ei huomioitu sillan vaurioita, todellinen 60-luvun esimerkkisillan käyttöaste H4b-törmäyskuormille on tod. näk. >100%
  - Materiaalien pienempi mitoituslujuus, pienemmät mitoituskuormat, geometria, vauriot
  - Taivutus mitoittava, mahdollinen vahventaminen tulisi kannen yläpintaan
  - Kantavuus laskettava tapauskohtaisesti
- Reunapalkin halkeilu vaikuttaa kannen rasituksiin epäedullisesti
- H2-kaidejärjestelmälle on tyyppisarja ja suunnitteluohje, onko vastaaville kysyntää H4b-kaiteen osalta?
  - Alentaisi kynnystä suunnitella H4b-kaiteita silloille

SITOWISE

Kiitos!

Kysymyksiä?

Iiro Törmä

iiro.torma@sitowise.com

+358 44 427 9780

SITOWISE.COM – THE SMART CITY COMPANY

SITOWISE